



TUGAS AKHIR - TF 141581

***HAZARD AND OPERABILITY STUDY DAN SAFETY INTEGRITY LEVEL DENGAN METODE FAULT TREE ANALYSIS PADA REAKTOR ASAM SULFAT DI PABRIK III PT PETROKIMIA GRESIK***

MUHAMMAD ROZAQUR ROKHIM  
NRP. 2411 100 001

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Ali Musyafa, M.Sc.

JURUSAN TEKNIK FISIKA  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015



**FINAL PROJECT - TF 141581**

**HAZARD AND OPERABILITY STUDY AND SAFETY  
INTEGRITY LEVEL WITH FAULT TREE ANALYSIS  
METHOD IN SULFURIC ACID REACTOR PABRIK III  
PT PETROKIMIA GRESIK**

**MUHAMMAD ROZAQUR ROKHIM**  
NRP. 2411 100 001

Supervisor  
Dr. Ir. Ali Musyafa, M.Sc.

DEPARTEMENT PF ENGINEERING PHYSICS  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2015

“Halaman ini memang dikosongkan”

**LEMBAR PENGESAHAN**

***HAZARD AND OPERABILITY STUDY DAN SAFETY  
INTEGRITY LEVEL DENGAN METODE FAULT TREE  
ANALYSIS PADA REAKTOR ASAM SULFAT DI  
PABRIK III PT PETROKIMIA GRESIK***

**TUGAS AKHIR**

Oleh :

**MUHAMMAD ROZAQUR ROKHIM**

**NRP : 2411 100 001**

**Surabaya, 14 Juli 2015**

**Mengetahui/Menyetujui**

**Pembimbing**

**Dr. Ir. Ali Musvafa', M.Sc.**

**NIPN. 19600901 198701 1 001**

**Ketua Jurusan  
Teknik Fisika FTI-ITS**



**Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA**

**NIPN. 19650309 199002 1 001**

**HAZARD AND OPERABILITY STUDY DAN SAFETY  
INTEGRITY LEVEL DENGAN METODE FAULT TREE  
ANALYSIS PADA REAKTOR ASAM SULFAT DI  
PABRIK III PT PETROKIMIA GRESIK**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**MUHAMMAD ROZAQUR ROKHIM**

**NRP : 2411 100 001**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

- |    |                           |       |               |
|----|---------------------------|-------|---------------|
| 1. | Dr. Ir. Ali Musyafa', MSc | ..... | Pembimbing    |
| 2. | Dr. Ir. Purwadi AA, MT    | ..... | Ketua Penguji |
| 3. | Ir. Ya'umar, MT           | ..... | Penguji I     |
| 4. | Dr. Ridho Hantoro, ST, MT | ..... | Penguji II    |

**SURABAYA**

**Juli 2015**

# **HAZARD AND OPERABILITY STUDY DAN SAFETY INTEGRITY LEVEL DENGAN METODE FAULT TREE ANALYSIS PADA REAKTOR ASAM SULFAT DI PABRIK III PT PETROKIMIA GRESIK**

**Nama Mahasiswa** : Muhammad Rozaqur Rokhim  
**NRP** : 24 11 100 001  
**Jurusan** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.

## **ABSTRAK**

*PT. Petrokimia Gresik merupakan industri yang bergerak di bidang produksi pupuk. Salah satu produk dari pabrik III PT. Petrokimia Gresik adalah produksi asam sulfat. Plant yang digunakan adalah reaktor atau converter R 1201. Reaktor ini berfungsi untuk mempercepat perubahan gas  $SO_2$  menjadi  $SO_3$ . Reaktor ini merupakan equipment yang memiliki risiko yang tinggi. Analisis bahaya menggunakan metode HAZOP dan analisis tingkat keamanan menggunakan metode FTA. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh hasil bahwa pada reaktor terdapat tiga instrumen yang memiliki risiko tinggi yaitu temperature record inlet bed II TR 1201-3, temperature record inlet bed III TR 1201-5, dan temperature record inlet bed IV TR 1202-3. Instrumen ini memiliki nilai risiko masing-masing sebesar 15, 15, dan 20 berdasarkan standar PT Petrokimia Gresik. Rekomendasinya adalah melakukan perawatan rutin dan menambahkan komponen redundant pada sistem reaktor untuk mengurangi potensi bahaya yang terjadi. Sedangkan untuk tingkat keamanan pada sistem reaktor hasil rekomendasi SIS diperoleh hasil PFD sebesar 0,025. Nilai tersebut masuk dalam kategori SIL 1.*

*Kata Kunci : Reaktor, HAZOP, FTA, SIL.*

“Halaman ini memang dikosongkan”

# **HAZARD AND OPERABILITY STUDY AND SAFETY INTEGRITY LEVEL WITH FAULT TREE ANALYSIS METHOD IN SULFURIC ACID REACTOR PABRIK III PT PETROKIMIA GRESIK**

**Name** : Muhammad Rozaqur Rokhim  
**NRP** : 24 11 100 001  
**Department** : Engineering Physics FTI-ITS  
**Supervisory** : Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.

## **ABSTRACT**

*PT Petrokima Gresik is an fertilizer industry. One of the product from Pabrik III PT. Petrokimia Gresik is sulfuric acid. This study objected to R 1201 as a high-risk equipment reactor or converter, which was used for accelerating  $SO_2$  to become  $SO_3$ . HAZOP and FTA methods was used for hazard and safety level analysis. Based on analysis result, temperature record inlet bed II TR 1201-3, temperature record inlet bed III TR 1201-5, and temperature record inlet bed IV TR 1202-3 was considered as high-risk instruments in this reactor by the risk value, using standardization from PT Petrokimia Gresik, each 15, 15, and 20. The recommendation is doing routine maintenance and adding redundant component in the reactor system for reduce hazard potential. For safety level, this reactor categorized in SIL 1 by the PFD value 0.025.*

*Keywords : Reactor, HAZOP, FTA, SIL.*



“Halaman ini memang dikosongkan”

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas berkat, rahmat dan kebesaran-Nya sehingga saya selaku penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir sampai dengan penyusunan Laporan Tugas Akhir yang berjudul ***“Hazard And Operability Study Dan Safety Integrity Level Dengan Metode Fault Tree Analysis Pada Reaktor Asam Sulfat Di Pabrik III PT. Petrokimia Gresik”***.

Tugas akhir ini merupakan persyaratan akademik yang harus dipenuhi dalam Program Studi S-1 Teknik Fisika FTI-ITS.

Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Keluarga tercinta, Ayah, Ibu, dan adik yang selalu menjadi motivasi terbesar saya dalam menyelesaikan studi dan tugas akhir di Teknik Fisika ini.
2. Bapak Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA. selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika dan dosen wali selama di Teknik Fisika.
3. Bapak Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir
4. Bapak Heren Agianto yang telah menjadi pembimbing selama pengambilan data di PT Petrokimia Gresik.
5. Evita Wahyundari yang telah membantu mengatur format penulisan tugas akhir ini.
6. Teman-teman kontrakan yang telah memberikan ruang dan waktu dalam pengerjaan tugas akhir ini.
7. Terima kasih untuk teman – teman TF angkatan 2010 dan 2011 serta semua teman – teman di ITS yang selalu memberi semangat, bantuan dan dukungan.
8. Teman-teman di Laboratorium Rekayasa Instrumentasi dan Control yang banyak membantu dalam pengerjaan tugas akhir ini.
9. Dan untuk semua orang yang telah membantu sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.

Penulis menyadari bahwa karya yang sempurna hanya ada pada Allah SWT. Oleh sebab itu, penulis sangat berterimakasih atas segala masukan, kritik dan saran yang membangun dari pembaca agar laporan ini menjadi lebih baik dari sebelumnya. Demikian laporan ini penulis buat, semoga laporan ini dapat memberikan manfaat selain bagi penulis sendiri, dan bagi pembaca sekalian.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b>	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	v
<b>ABSTRAK</b>	ix
<b>ABSTRACT</b>	xi
<b>KATA PENGANTAR</b>	xiii
<b>DAFTAR ISI</b>	xv
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	xvii
<b>DAFTAR TABEL</b>	xix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Reaktor Asam Sulfat	5
2.2 <i>Hazard and Operability (HAZOP)</i>	6
2.3 <i>Guide Word and Deviation</i>	8
2.4 Analisis Risiko	9
2.5 <i>Fault Tree Analysis (FTA)</i>	12
2.6 <i>Safety Integrity Level (SIL)</i>	14
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Langkah-langkah Penelitian	17
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Analisis Risiko	23
4.2 Analisis SIL	38
4.3 Pembahasan	41
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran	45
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	47
<b>LAMPIRAN A</b>	
<b>LAMPIRAN B</b>	
<b>LAMPIRAN C</b>	
<b>LAMPIRAN D</b>	

## **LAMPIRAN E**

## DAFTAR TABEL

<b>TABEL 2.1</b>	Dasar <i>Guide Word</i>	8
<b>TABEL 2.2</b>	Kriteria Dampak Peluang	9
<b>TABEL 2.3</b>	Kriteria Dampak Level	11
<b>TABEL 2.4</b>	<i>Risk Matrix</i>	12
<b>TABEL 2.5</b>	Simbol FTA <i>Gate</i>	13
<b>TABEL 2.6</b>	Simbol FTA Kejadian	13
<b>TABEL 2.7</b>	PFD of <i>Industries</i>	15
<b>TABEL 2.8</b>	PFD of SIL	16
<b>TABEL 3.1</b>	Tabel Risk Matrix PT Petrokimia Gresik	20
<b>TABEL 4.1</b>	Tabel Guide Word dan Deviasi Reaktor <i>Bed I</i>	24
<b>TABEL 4.2</b>	Tabel Kriteria <i>Likelihood</i> Reaktor <i>Bed I</i>	25
<b>TABEL 4.3</b>	Tabel Kriteria <i>Consequences</i> Reaktor <i>Bed I</i>	26
<b>TABEL 4.4</b>	Tabel <i>Risk Matrix</i> Reaktor <i>Bed I</i>	26
<b>TABEL 4.5</b>	Tabel Guide Word dan Deviasi Reaktor <i>Bed II</i>	28
<b>TABEL 4.6</b>	Tabel Kriteria <i>Likelihood</i> Reaktor <i>Bed II</i>	29
<b>TABEL 4.7</b>	Tabel Kriteria <i>Consequences</i> Reaktor <i>Bed II</i>	30
<b>TABEL 4.8</b>	Tabel <i>Risk Matrix</i> Reaktor <i>Bed II</i>	30
<b>TABEL 4.9</b>	Tabel Guide Word dan Deviasi Reaktor <i>Bed III</i>	32
<b>TABEL 4.10</b>	Tabel Kriteria <i>Likelihood</i> Reaktor <i>Bed III</i>	33
<b>TABEL 4.11</b>	Tabel Kriteria <i>Consequences</i> Reaktor <i>Bed III</i>	34
<b>TABEL 4.12</b>	Tabel <i>Risk Matrix</i> Reaktor <i>Bed III</i>	34
<b>TABEL 4.13</b>	Tabel Guide Word dan Deviasi Reaktor <i>Bed IV</i>	36
<b>TABEL 4.14</b>	Tabel Kriteria <i>Likelihood</i> Reaktor <i>Bed IV</i>	37
<b>TABEL 4.15</b>	Tabel Kriteria <i>Consequences</i> Reaktor <i>Bed IV</i>	37
<b>TABEL 4.16</b>	Tabel <i>Risk Matrix</i> Reaktor <i>Bed IV</i>	38
<b>TABEL 4.17</b>	Tabel PFD SIS	40

“Halaman ini memang dikosongkan”

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Reaktor/Converter Asam Sulfat	5
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Penelitian	17
<b>Gambar 4.1</b>	Gambar <i>Node</i> Reaktor <i>Bed</i> I	23
<b>Gambar 4.2</b>	Grafik <i>Control Chart</i> x bar TR 1201-1	24
<b>Gambar 4.3</b>	Gambar <i>Node</i> Reaktor <i>Bed</i> II	27
<b>Gambar 4.4</b>	Grafik <i>Control Chart</i> x bar TR 1201-3	27
<b>Gambar 4.5</b>	Gambar <i>Node</i> Reaktor <i>Bed</i> III	31
<b>Gambar 4.6</b>	Grafik <i>Control Chart</i> x bar TR 1201-5	31
<b>Gambar 4.7</b>	Gambar <i>Node</i> Reaktor <i>Bed</i> IV	35
<b>Gambar 4.8</b>	Grafik <i>Control Chart</i> x bar TR 1202-3	35
<b>Gambar 4.9</b>	Rekomendasi SIS	39
<b>Gambar 4.10</b>	FTA SIS	39



“Halaman ini memang dikosongkan”

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Salah satu industri terbesar di Jawa Timur adalah industri PT Petrokimia Gresik yang bergerak dalam sektor penghasil pupuk. Dalam menghasilkan produknya, industri ini menggunakan bahan baku untuk diproses menjadi suatu produk. Produk utama dari industri ini adalah pupuk nitrogen dan pupuk fosfat. Industri ini membutuhkan bahan baku berupa ammonia, asam sulfat, dan asam fosfat dalam pembuatan pupuk.

Terdapat tiga pabrik di PT Petrokimia Gresik dengan produksi yang berbeda-beda yaitu pabrik I, II, dan III. Pabrik III mempunyai lima bagian dalam produksinya yaitu bagian pengendalian produksi III, bagian asam sulfat, bagian asam fosfat, bagian gypsum dan  $\text{AlF}_3$  serta bagian ZA II. Kelima bagian ini mempunyai tugas yang berbeda-beda dalam produksinya. Untuk bagian produksi asam sulfat, bahan baku utamanya adalah belerang. Ada empat tahap dalam pembuatan asam sulfat yaitu :

1. *sulfur handling*
2. pembuatan  $\text{SO}_2$  dan pengubah  $\text{SO}_2$
3. pengeringan udara dan penyerapan  $\text{SO}_3$
4. penyimpanan dan pendistribusian  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . [1]

Keempat tahap tersebut memiliki produk masing-masing yang selanjutnya akan diproses pada tahap selanjutnya. Penyerapan  $\text{SO}_3$  menggunakan katalis yang terdapat pada reaktor asam sulfat. Reaktor ini berfungsi untuk mempercepat reaksi dari gas  $\text{SO}_2$  menjadi gas  $\text{SO}_3$ . Terdapat 4 tahap proses penyerapan yaitu *bed* 1 sampai *bed* 4. Masing-masing *bed* memiliki proses penyerapan berbeda-beda. Hal ini dilakukan karena keluaran dari produk masing-masing *bed* akan diproses berbeda. Keamanan dalam reaktor ini harus diperhatikan karena berpengaruh terhadap kualitas produk. Sistem di reaktor hanya mempunyai sensor suhu dan tekanan pada masing-masing *bed*. Jika selisih tekanan pada *bed* kurang dari standar yang telah ditentukan, maka

katalis pada *bed* bocor sehingga produksi asam sulfat berhenti (*shutdown*).

Kebocoran inilah yang akan memberikan dampak dalam proses selanjutnya yang nantinya akan mempengaruhi penurunan kualitas produk serta emisi gas buang  $\text{SO}_2$  yang tinggi karena gas  $\text{SO}_2$  tidak terkonversi menjadi gas  $\text{SO}_3$  secara sempurna dan meninggalkan sisa-sisa gas  $\text{SO}_2$ . Standar untuk pengeluaran emisi gas  $\text{SO}_2$  pada atmosfer adalah 650 ppm. Jika lebih dari itu maka polusi gas  $\text{SO}_2$  akan membahayakan manusia, hewan, tumbuhan, dan sungai. Oleh karena itu, untuk mengetahui bahaya ataupun risiko yang terjadi pada reaktor, maka diperlukan analisis *Hazard and Operability Study* (HAZOP). Dalam mengidentifikasi HAZOP, langkah pertama yang dilakukan adalah mengidentifikasi bahaya yang serius yang membahayakan para operator atau pekerja disekitar *plant*. Kedua yaitu mengaplikasikan prosedur dasar yang untuk mengidentifikasi penyebab yang terjadi. [12]

Selain mengidentifikasi risiko yang terjadi ketika terjadi kegagalan dalam sistem reaktor, perlu juga melihat dari sisi keamanan dari reaktor tersebut. Tingkat keamanan dari suatu sistem bisa diidentifikasi dengan menggunakan analisis *Safety Integrity Level* (SIL). Dengan begitu dalam tugas akhir ini akan dijelaskan tentang risiko yang terjadi dalam sistem reaktor beserta tingkat keamanan dari reaktor tersebut.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada, maka diperoleh permasalahan dalam tugas akhir ini yaitu :

1. bagaimana melakukan analisis bahaya dengan menggunakan metode hazop pada reaktor asam sulfat?
2. bagaimana menentukan nilai *Safety Integrity Level* (SIL) dengan menggunakan metode FTA?

## 1.3 Batasan Masalah

Untuk menghindari meluasnya permasalahan, maka diperlukan batasan masalah sebagai berikut :

1. *plant* yang digunakan adalah reaktor asam sulfat Pabrik III Petrokimia Gresik
2. analisa bahaya menggunakan metode hazop
3. analisis SIL dengan metode FTA

#### **1.4 Tujuan**

Tujuan dilakukan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

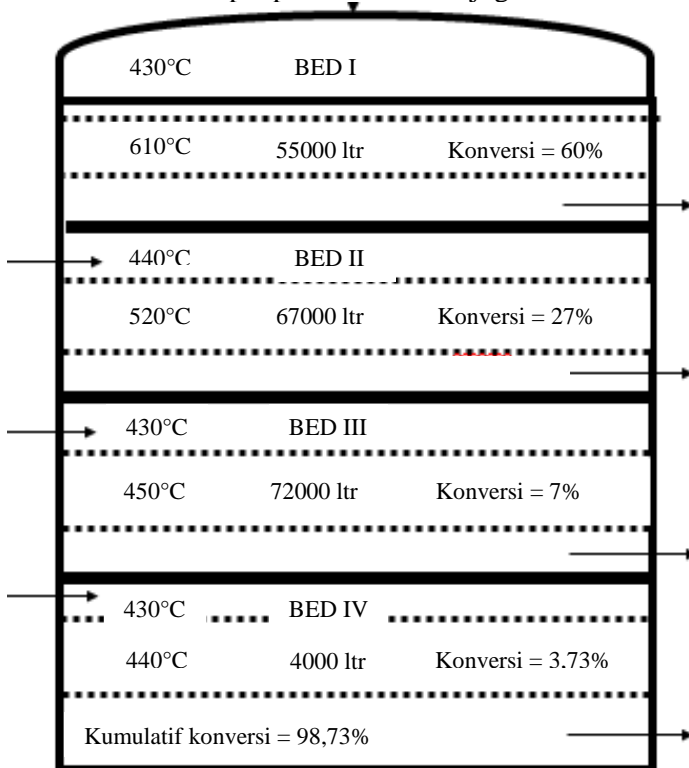
1. untuk melakukan analisis bahaya dengan menggunakan metode hazop pada reaktor asam sulfat
2. untuk menentukan nilai *Safety Integrity Level* (SIL) dengan menggunakan metode FTA

“Halaman ini memang dikosongkan”

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Reaktor Asam Sulfat

Reaktor asam sulfat merupakan sebuah reaktor yang berfungsi sebagai pengubah gas  $\text{SO}_2$  menjadi gas  $\text{SO}_3$  yang nantiya akan diproses ke proses penyerapan  $\text{SO}_3$ . Didalam reaktor terdapat empat *bed* yang memiliki produk keluaran yang berbeda-beda. Hal ini dikarenakan proses yang dilakukan untuk keempat produk keluaran juga berbeda.



**Gambar 2.1** Reaktor / Converter Asam Sulfat[1]

Gambar diatas merupakan gambar proses pengubah gas  $\text{SO}_2$  menjadi gas  $\text{SO}_3$  melalui setiap *bed*nya. Setiap *bed* memiliki katalis untuk mempercepat reaksi dari  $\text{SO}_2$  menjadi  $\text{SO}_3$ . Alur proses reaksi pada setiap *bed*.

- *Bed* pertama dari katalis 1 bisa mengkonversi gas  $\text{SO}_2$  menjadi gas  $\text{SO}_3$  sebesar 60%. Sehingga keluaran dari *bed* pertama ini adalah gas dengan kandungan  $\text{SO}_3$  sebesar 60%.
- Gas keluaran dari *bed* pertama kemudian melewati HE 1 (heat exchanger) untuk menurunkan suhu kurang lebih  $520^\circ\text{C}$  untuk masuk ke *bed* kedua. Di dalam *bed* ini gas  $\text{SO}_3$  dengan kandungan 60% dikonversi lagi menjadi gas dengan kandungan 87%  $\text{SO}_3$ . Reaksi proses dipercepat dengan adanya katalis 2 di *bed* tersebut.
- Gas  $\text{SO}_3$  keluaran dari *bed* 2 ini masuk ke HE 2 untuk menurunkan suhu kurang lebih  $450^\circ\text{C}$  untuk masuk ke *bed* 3. Di *bed* 3 ini gas dengan kandungan 87% gas  $\text{SO}_3$  dikonversi lagi menjadi gas dengan kandungan 94% gas  $\text{SO}_3$  melalui bantuan katalis 3 sebagai pemercepat reaksi.
- Keluaran gas dari *bed* 3 kemudian masuk ke HE 3 untuk memanaskan air yang berasal dari BFW (*Boiler Feed Water*) untuk masuk ke boiler. Keluaran dari HE 3 ini akan masuk ke absorber 1.
- Masukan untuk *bed* 4 ini berasal dari keluaran HE 1 dan HE 2. Dengan kandungan 94% gas  $\text{SO}_3$ . Gas ini akan dikonversi dengan bantuan katalis menjadi gas dengan kandungan 98,73% gas  $\text{SO}_3$ . Kemudian gas tersebut masuk ke HE 4 untuk memanaskan air dari BFW dan masuk ke absorber 2 untuk diproses lebih lanjut.

Adapun komponen utama penyusun sistem reaktor asam sulfat ini.

## 2.2 HAZOP

Sebuah studi HAZOP adalah prosedur yang sangat disiplin dimaksudkan untuk mengidentifikasi bagaimana

proses dapat menyimpang dari maksud desain. Kepanjangan dari HAZOP sendiri adalah *Hazard and operability Study*. Keberhasilannya terletak pada kekuatan metodologi yang mengikuti Proses suatu sistem Flow Diagram (PFD) dan Pipa dan Instrumentasi Diagram (P&ID), serta bagian batas yang disebut node, sehingga memastikan analisis masing-masing peralatan dalam proses. Dalam mengidentifikasi HAZOP, diperlukan sebuah tim yang bisa mengidentifikasi potensi penyimpangan-penyimpangan yang ada dalam disain dengan memeriksa kemungkinan penyebabnya dan penilaian konsekuensi. [9]

### **2.2.1 Pemeriksaan HAZOP**

Fitur utama dari pemeriksaan HAZOP meliputi berikut ini.

- Pemeriksaan secara kreatif dengan hasil pemeriksaan dengan sistematis menggunakan serangkaian kata-kata panduan untuk mengidentifikasi penyimpangan potensial dari maksud desain dan menggunakan penyimpangan ini untuk membayangkan bagaimana penyimpangan yang mungkin terjadi dan apa yang mungkin menjadi konsekuensi.
- Pemeriksaan dilakukan di bawah bimbingan studi yang terlatih dan berpengalaman untuk memastikan cakupan yang luas dari sistem yang diteliti, menggunakan logis, dan berpikir analitis.
- Pemeriksaan ini bergantung pada spesialis dari berbagai disiplin ilmu dengan keterampilan yang sesuai dan pengalaman serta penilaian yang baik.
- Setiap masalah yang telah selesai diidentifikasi, didokumentasikan dalam suatu tabel *assesment* . [9]



### 2.2.2 Analisis HAZOP

Analisis HAZOP dilakukan dengan prosedur seperti dibawah ini.

- a. Pengumpulan data bagian-bagian dari plant selengkap-lengkapanya.
- b. Pengelompokkan sistem menjadi sub-sub sistem kecil dengan penentuan guide word.
- c. Pemeriksaan terhadap penyimpangan dari setiap elemen. Pemeriksaan ini meliputi penyebab dan akibat yang disesuaikan dengan risk matrix.
- d. Pemeriksaan terhadap mekanisme perlindungan, deteksi, dan indikasi penyimpangan yang terjadi untuk mengurangi kemungkinan terjadi dan konsekuensinya.
- e. Hasil yang diperoleh kemudian disimpan untuk nantinya digunakan dalam proses kerja.
- f. Proses ini diulang untuk setiap interpretasi guide word. Proses diulang terus menerus sampai semua komponen telah selesai dianalisa.[9]

### 2.3 Guide word and deviation

Pada tahap perencanaan studi HAZOP, penentuan guide word harus sesuai dengan karakteistik sistem tersebut karena karakteristik pada setiap komponen *berbeda-beda*. Gambar tabel dibawah ini merupakan dasar guide words dan artinya.

**Tabel 2.1** Dasar *Guide Word* [9]

<b>Guide word</b>	<b>Meaning</b>
NO OR NOT	Complete negation of the design intent
MORE	Quantitative increase
LESS	Quantitative decrease
AS WELL AS	Quanlitative modification/increase
PART OF	Quanlitative modification/decrease
REVERSE	Logical opposite of the design intent
OTHER THAN	Complete substitution

## 2.4 Analisis Risiko

Analisis risiko dilakukan dengan menidentifikasi risiko yang terjadi dalam suatu sistem. Pendekatan yang digunakan untuk menganalisa risiko ini bersifat kualitatif, kuantitatif, atau naratif sesuai dengan kebutuhan. Selanjutnya dibuat kriteria yang jelas untuk penentuan dampak dan peluang risiko yang berpengaruh terhadap target yang sudah ditetapkan. Hasil identifikasi risiko yang sudah dilakukan dievaluasi sumber dan penyebab risiko. Kemudian dianalisa peluang / kemungkinan terjadinya serta akibat terhadap pencapaian kinerja dari sistem tersebut dengan menggunakan standar PT Petrokimia Gresik.

Pengukuran risiko dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Risiko} = \text{Dampak} \times \text{Peluang} \quad (2.1)$$

### 2.4.1 Likelihood

*Likelihood* adalah besarnya kemungkinan (probabilitas) atau kecenderungan terjadinya risiko tersebut dalam suatu aktifitas. Peluang bersifat dinamis atau selalu berubah-ubah mengikuti perubahan kondisi yang berlaku pada sumber risiko. Penetapan level peluang didasarkan atas kecenderungan terjadinya hambatan/kegagalan dalam beraktivitas dengan menggunakan tolok ukur tertentu

Level pengukuran peluang terjadinya risiko berdasarkan standar PT Petrokimia Gresik adalah.

**Tabel 2.2** Kriteria Dampak Peluang [8]

Kriteria nilai Peluang	Level	Batasan Peluang
1	<i>Rare</i>	Apabila kondisi dari sumber risiko (unsur/komponen/obyek dalam beraktivitas) <i>tidak mempengaruhi</i> berlangsungnya aktivitas, sehingga

**Tabel 2.2 Lanjutan**

		kemungkinan <i>terjadinya sangat kecil (Rare)</i> atau sekitar 0-20%.
2	<i>Unlikely</i>	Apabila kondisi dari sumber risiko (unsur/komponen/obyek dalam beraktivitas) <i>sekali-kali mempengaruhi</i> berlangsungnya aktivitas, sehingga kemungkinan <i>terjadinya sekali-kali (Unlikely)</i> atau sekitar > 20%-40%.
3	<i>Moderate</i>	Apabila kondisi dari sumber risiko (unsur/komponen/obyek dalam beraktivitas) <i>cukup mempengaruhi</i> berlangsungnya aktivitas, sehingga kemungkinan <i>terjadinya sedang (Moderate)</i> atau sekitar > 40%-60%.
4	<i>Likely</i>	Apabila kondisi dari sumber risiko (unsur/komponen/obyek dalam beraktivitas) <i>sering mempengaruhi</i> berlangsungnya aktivitas, sehingga kemungkinan <i>terjadinya sering (Likely)</i> atau sekitar > 60%-80%.
5	<i>Certain</i>	Apabila kondisi dari sumber risiko (unsur/komponen/obyek dalam beraktivitas) <i>hampir selalu/pasti mempengaruhi</i> berlangsungnya aktivitas, sehingga kemungkinan <i>hampir selalu /pasti terjadi (Certain)</i> atau sekitar > 80%-100%.

### 2.4.2 Consequences

*Consequence of Incident* dapat dievaluasi dengan melalui tahapan sebagai berikut :

- Menggunakan kata tanya HOW MUCH (misalnya kg, ton, lbs) dari WHAT (misalnya bahan kimia apa, terbakarnya atau meledaknya bahan) HOW LONG (misalnya semenit, sejam, sehari)
- Efek fisik yang terjadi, tergantung dari karakteristik bahaya yang ada.

- c. Dampaknya pada manusia, flora dan fauna, benda-benda, serta terhadap lingkungan.[5]

Berdasarkan standar dari PT Petrokimia Gresik, tingkat dampak ditentukan melalui kriteria level seperti tabel .

**Tabel 2.3** Kriteria Dampak Level [8]

<b>Kriteria nilai Dampak</b>	<b>Level</b>	<b>Batasan Dampak</b>
1	<i>Insignificant</i>	Sumber risiko (unsur / komponen /obyek dalam beraktivitas) <i>tidak berdampak sama sekali</i> , akibatnya tidak signifikan terhadap kelangsungan aktivitas, sehingga aktivitas tetap terlaksana.
2	<i>Minor</i>	Sumber risiko (unsur / komponen /obyek dalam beraktivitas) <i>berdampak kecil</i> , akibatnya kecil terhadap kelangsungan aktivitas, sehingga aktivitas masih terlaksana.
3	<i>Moderate</i>	Sumber risiko (unsur / komponen /obyek dalam beraktivitas) <i>berdampak sedang</i> , akibatnya sedang terhadap kelangsungan aktivitas, sehingga aktivitas masih terlaksana.
4	<i>Major</i>	Sumber risiko (unsur / komponen /obyek dalam beraktivitas) <i>berdampak besar</i> , akibatnya cukup signifikan terhadap kelangsungan aktivitas, namun masih dapat terlaksana walaupun tidak optimal.

**Tabel 2.3 Lanjutan**

5	<i>Catastrophic</i>	Sumber risiko (unsur / komponen /obyek dalam beraktivitas) <i>berdampak sangat besar</i> , akibatnya sangat signifikan terhadap kelangsungan aktivitas, sehingga aktivitas sama sekali tidak dapat terlaksana.
---	---------------------	--

Sedangkan untuk tabel risk matrix berdasarkan standar PT Petrokimia Gresik.

**Tabel 2.4 Risk Matrix [8]**

PELUANG	NILAI	DAMPAK				
		<i>Insignificant</i>	<i>Minor</i>	<i>Moderate</i>	<i>Major</i>	<i>Catastrophic</i>
<i>Certain</i>	5	5	10	15	20	25
<i>Likely</i>	4	4	8	12	16	20
<i>Moderate</i>	3	3	6	9	12	15
<i>Unlikely</i>	2	2	4	6	8	10
<i>Rare</i>	1	1	2	3	4	5

Risiko rendah	: nilai 1 - 4
Risiko sedang	: nilai > 4 - 12
Risiko tinggi	: nilai > 12 - 25

## 2.5 Fault Tree Analysis (FTA)








FTA merupakan metode penilaian risiko yang telah diaplikasikan pada banyak industri. FTA telah banyak digunakan untuk mengukur seberapa banyak kegagalan pada diagram logika. Ini digunakan untuk mengidentifikasi penyebab yang terjadi pada top event [12]. FTA mengilustrasikan keadaan dari komponen sistem (*basic event*) dan hubungan antara *basic event* dan *top event*. [2]

Simbol pada FTA dibagi menjadi dua yaitu :

a. Simbol-simbol *gate*

Simbol *gate* ini digunakan untuk menunjukkan hubungan antara kejadian dalam sistem. Simbol-simbol *gate* dapat dilihat pada tabel di bawah ini.


**Tabel 2.5** Simbol FTA *Gate* [2]

No.	Simbol <i>Gate</i>	Nama dan Keterangan
1		<i>And gate</i> . <i>Output event</i> terjadi jika semua <i>input event</i> terjadi secara bersamaan
2		<i>Or gate</i> . <i>Output event</i> terjadi jika paling tidak satu <i>input event</i> terjadi
3		<i>K out of n gate</i> . <i>Output event</i> terjadi jika paling sedikit k output dari n <i>input event</i> terjadi
4		<i>Exclusive Or gate</i> . <i>Output event</i> terjadi jika satu <i>input event</i> , tetapi tidak keduanya terjadi
5		<i>Inhibit gate</i> . <i>Input</i> menghasilkan <i>output</i> jika <i>conditional event</i> ada
6		<i>Priority AND gate</i> . <i>Output event</i> terjadi jika semua <i>input event</i> terjadi baik dari kanan maupun dari kiri
7		<i>NOT gate</i> . <i>Output event</i> terjadi jika <i>input event</i> tidak terjadi





b. Simbol-simbol Kejadian FTA

Simbol ini digunakan untuk menunjukkan sifat dari setiap kejadian dalam sistem. Simbol-simbol kejadian yang digunakan ada pada tabel di bawah ini.

**Tabel 2.6** Simbol FTA kejadian [11]

No.	Simbol	Nama dan Keterangan
1		<i>Ellipse</i> Gambar <i>ellipse</i> menunjukkan kejadian pada level paling atas dalam pohon kesalahan

**Tabel 2.6** Lanjutan

2		<i>Rectangle</i> Gambar <i>rectangle</i> menunjukkan kejadian pada level menengah dalam pohon kesalahan
3		<i>Circle</i> Gambar <i>circle</i> menunjukkan kejadian pada level paling bawah atau disebut kejadian paling dasar
4		<i>Diamond</i> Gambar <i>Diamond</i> menunjukkan kejadian yang tidak terduga. Kejadian-kejadian tak terduga dapat dilihat pada pohon kesalahan dan dianggap sebagai kejadian paling awal yang menyebabkan kerusakan
5		<i>House</i> Gambar <i>House</i> menunjukkan kejadian <i>input</i> dan merupakan kegiatan terkendali. Kegiatan ini dapat menyebabkan kerusakan

## 2.6 Safety Integrity Level (SIL)

SIL adalah level keamanan dari *Safety Instrumented System* (SIS). SIL diartikan sebagai SIL 1, 2, 3, dan 4. Semakin tinggi tingkatan SIL, maka keamanan dari SIS lebih baik. Kinerja SIS yang lebih baik dicapai dengan ketersediaan keamanan yang lebih tinggi. Kinerja SIS ditingkatkan dengan penambahan redundansi, tes yang lebih sering, penggunaan deteksi kesalahan, dan lain-lain. Beberapa pemahaman tentang bagaimana tiga tingkat SIL diimplementasikan adalah penting bagi proses keamanan dalam penentuan SIL. Dengan pemahaman tentang pentingnya aspek keselamatan dari SIS, termasuk apa yang dibutuhkan untuk mencapai SIL yang berbeda.

**Tabel 2.7 PFD of Industries [3]**

SIL	PFD avg	Industri
SIL 1	0,1 – 0,01	
SIL 2	0,01 – 0,001	Industrial Boiler, Chemical Processes
SIL 3	0,001 – 0,0001	Utility Boiler, Chemical Processes
SIL 4	< 0,0001	Nuclear Power Rail Transportation

Penentuan nilai SIL sangat penting dalam tahapan pembuatan *life cycle* SIL. Metode dalam perhitungan SIL menggunakan metode kuantitatif.

**Tabel 2.8 PFD of SIL [4]**

DEMAND MODE OF OPERATION		
Safety integrity level (SIL)	Target average probability of failure on demand	Target risk reduction
4	$\geq 10^{-5}$ to $< 10^{-4}$	$> 10,000$ to $\leq 100,000$
3	$\geq 10^{-4}$ to $< 10^{-3}$	$> 1000$ to $\leq 10,000$
2	$\geq 10^{-3}$ to $< 10^{-2}$	$> 100$ to $\leq 1000$
1	$\geq 10^{-2}$ to $< 10^{-1}$	$> 10$ to $\leq 100$

$$PFD_{sys} = PFD_s + PFD_l + PFD_{fe} \quad (2.2)$$

Dimana :

$PFD_{sys}$  : PFD rata-rata dari fungsi pengamanan safety-related system

$PFD_s$  : PFD dari sensor subsystem

$PFD_l$  : PFD dari logic subsystem

$PFD_{fe}$  : PFD dari final element subsystem

Untuk single-channel (1001) rumus yang digunakan untuk menghitung PFD adalah :

$$PFD_{1001} = \frac{\lambda_{du} \times T_1}{2} \quad (2.3)$$

$$PFD_{1002} = \frac{(\lambda_{du})^2 \times (T_1)^2}{3} \quad (2.4)$$



$$PFD_{1003} = \frac{(\lambda_{du})^3 \times (T_1)^3}{4} \quad (2.5)$$

$$PFD_{2002} = \lambda_{du} \times T_1 \quad (2.6)$$

$$PFD_{2003} = (\lambda_{du})^2 \times (T_1)^2 \quad (2.7)$$

$$PFD_{2004} = (\lambda_{du})^3 \times (T_1)^3 \quad (2.8)$$

Dimana :

$PFD_{1001}$  = *Probability Failure on Demand Average 1001*

$\lambda_{du}$  = *Laju kegagalan (failure rate)*

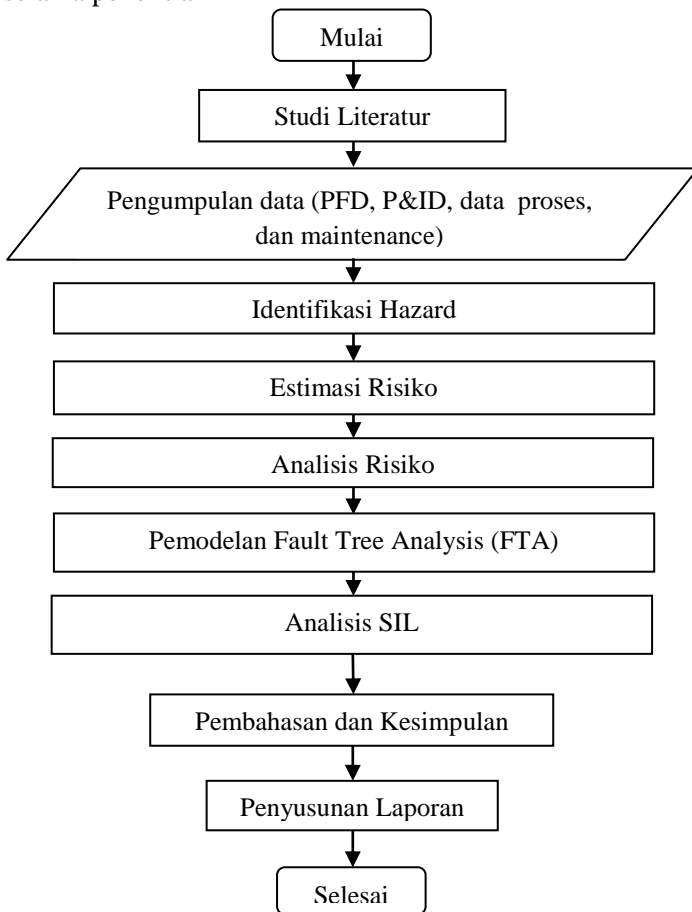
$T_1$  = *Interval time / test function (hour)*

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Langkah-langkah Penelitian**

Gambar 3.1 merupakan tahapan-tahapan dalam melakukan penelitian. Tahapan-tahapan ini menjelaskan alur yang dilakukan selama penelitian



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

### a. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengetahui bagaimana analisa HAZOP dan proses dalam reaktor asam sulfat. Referensi analisa HAZOP didapatkan dari beberapa jurnal dan laporan dari tugas akhir sebelumnya. Sementara itu untuk mengetahui proses dalam reaktor asam sulfat perlu referensi data dari PT Petrokimia Gresik pabrik III asam sulfat. Data didapatkan dari departemen instrumen, perancangan dan pengendalian bagian pemeliharaan III (HAR III).

### b. Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada tugas akhir ini meliputi data *maintenance*, data PFD dan P&id, dan data proses. Data *maintenance* didapatkan dari log book departemen *instrumen*. Data *maintenance* dapat dilihat pada lampiran E. Data yang diambil adalah data kerusakan pada setiap instrumen yang terdapat pada sistem reaktor selama 5 tahun. Data PFD dan P&id digunakan untuk mengetahui proses yang terjadi pada sistem reaktor dan instrumen apa saja yang mendukung sistem tersebut. Gambar PFD dan P&id dapat dilihat pada lampiran D. Sedangkan data proses didapatkan dari pencatatan temperatur dan tekanan pada setiap instrumen setiap jamnya dalam jangka waktu 1 bulan (1 maret – 30 Maret 2015) di pabrik III asam sulfat. Data proses dapat dilihat pada lampiran B dan lampiran C.

### c. Identifikasi Hazard

Identifikasi bahaya yang terjadi pada sistem menggunakan metode HAZOP. Tahapan – tahapan dalam menganalisa bahaya dengan menggunakan metode HAZOP antara lain.

1. Sistem yang akan diteliti ditentukan terlebih dahulu. Dalam tugas akhir ini sistem yang akan diteliti adalah sistem reaktor asam sulfat.
2. *Node*/titik studi ditentukan pada sistem tersebut dengan mengelompokkan sub – sub sistem. Pengelompokkan sub-sub sistem ini mengacu pada data P&id yang telah ada. Pada tugas akhir ini, sub-sub sistem dibagi menjadi empat bagian

yaitu reaktor *bed* I, reaktor *bed* II, reaktor *bed* III, dan reaktor *bed* IV.

3. Setiap *node* yang sudah dibuat, ditentukan instrumen yang menunjang sub-sub sistem. Referensi yang digunakan untuk penentuan instrumennya adalah data P&id. Misalnya saja *pressure* transmitter dan *temperature* transmitter.
4. Pada setiap instrumen ditentukan guide words yang didapat berdasarkan data proses yang sudah diolah dengan menggunakan *control chart*. *Control chart* ini digunakan untuk melihat trend data yang terbentuk melalui grafik selama 30 hari.

$$\begin{aligned} UCL &= \mu + L\sigma \\ UCL &= \mu \\ UCL &= \mu - L\sigma \end{aligned} \quad (3.1)$$

Dengan L merupakan koefisien yang menunjukkan unit tingkat kepercayaan.

5. Setelah itu penyebab dan akibat serta pengamanan dianalisa pada sistem tersebut.

#### **d. Estimasi Risiko**

Ada dua bagian dari estimasi risiko ini.

##### **1. Likelihood**

*Likelihood* merupakan frekuensi kemungkinan risiko yang terjadi pada waktu tertentu pada instrumen. Estimasi *Likelihood* menggunakan data *maintenance* dari setiap komponen yang rusak atau kalibrasi. Data ini didapatkan dari log book yang ada di departemen instrumen di pabrik III asam sulfat PT Petrokimia Gresik. Dari data kegagalan setiap instrumen, kemudian menentukan *Mean Time to Failure* (MTTF). MTTF merupakan rata-rata waktu instrumen mengalami kegagalan dalam satu waktu tertentu. Tiap harinya, pabrik III asam sulfat ini beroperasi selama 24 jam. Sehingga untuk mencari nilai *Likelihood* maka waktu operasional pabrik beroperasi selama 5 tahun dibagi dengan rata-rata waktu instrumen mengalami kegagalan. Persamaan yang digunakan adalah

$$Likelihood = \frac{43800}{MTTF} \quad (3.2)$$

Angka 43800 merupakan jumlah jam dalam 5 tahun.

Sementara itu untuk mencari nilai MTTF digunakan persamaan dibawah ini.

$$MTTF = \frac{1}{failure\ rate} = \frac{1}{\lambda} \quad (3.3)$$

Data perhitungan *likelihood* dapat dilihat pada lampiran E.

## 2. *Consequences*

*Consequences* adalah dampak yang ditimbulkan dari bahaya yang terjadi. *Consequences* bisa diestimasi dari beberapa sudut yaitu segi ekonomi, instrumen, lingkungan, dan manusia.

### e. Analisis Risiko

Analisis risiko merupakan perkalian dari nilai *Likelihood* dan *Consequences*. Analisis ini menggunakan tabel *risk matrix*. Di bawah ini merupakan tabel *risk matrix* berdasarkan standar PT Petrokimia Gresik.

**Tabel 3.1** Tabel *Risk Matrix* PT Petrokimia Gresik[8]

PELUANG	NILAI	DAMPAK				
		<i>Insignificant</i>	<i>Minor</i>	<i>Moderate</i>	<i>Major</i>	<i>Catastrophic</i>
		1	2	3	4	5
<i>Certain</i>	5	5	10	15	20	25
<i>Likely</i>	4	4	8	12	16	20
<i>Moderate</i>	3	3	6	9	12	15
<i>Unlikely</i>	2	2	4	6	8	10
<i>Rare</i>	1	1	2	3	4	5

Dimana :

Risiko rendah : nilai 1 -4

Risiko sedang : nilai > 4 – 12

Risiko tinggi : nilai > 12 – 25

**f. Pemodelan *Fault Tree Analysis* (FTA)**

Pemodelan FTA ini digunakan untuk mengidentifikasi kegagalan pada komponen dalam sistem reaktor. Ada empat tahap dalam mengidentifikasi suatu sistem dengan metode FTA :

1. Sistem harus didefinisikan termasuk batas-batas darimana sistem tersebut ditinjau serta komponen-komponen apa saja yang menyebabkan kegagalan dalam sistem tersebut.
2. Membuat *fault tree* dengan simbol-simbol yang mempresentasikan suatu sistem dan adanya relevan dari sistem tersebut.
3. Menentukan *top event* hingga *basic event* di dalam sistem dengan menggunakan evaluasi kualitatif
4. Menentukan kemungkinan terjadinya kegagalan dari *basic event* untuk mendapatkan kemungkinan kegagalan dari *top event*.

**g. Analisis *Safety Integrity Level* (SIL)**

Analisis SIL dilakukan untuk menentukan nilai keamanan dari suatu sistem. SIL ditentukan melalui evaluasi kuantitatif dari PFD sistem.

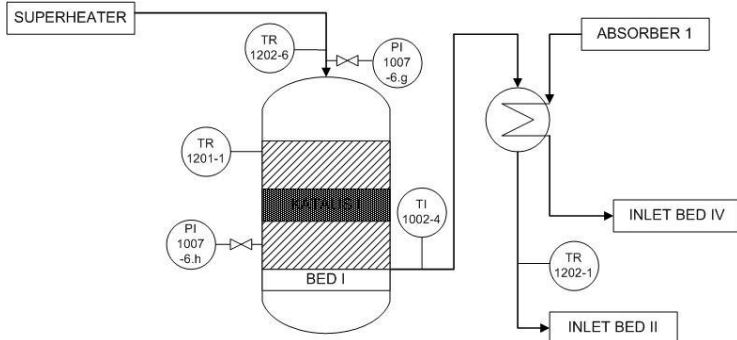
“Halaman ini memang dikosongkan”

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisis Risiko

Pada tugas akhir ini, analisis risiko yang akan dibahas ada 4 *node* yaitu *node*/titik studi reaktor *bed* I, reaktor *bed* II, reaktor *bed* III, dan reaktor *bed* IV.

#### 4.1.1 Node Reaktor Bed I / Converter R 1201



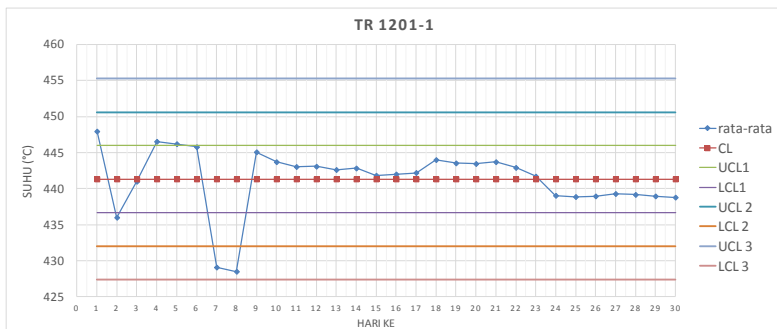
**Gambar 4.1** Gambar Node Reaktor Bed I

Reaktor asam sulfat *bed* I ini memiliki fungsi yaitu untuk merubah gas  $\text{SO}_2$  menjadi gas  $\text{SO}_3$  dengan bantuan katalis. Masukan gas  $\text{SO}_2$  berasal dari keluaran superheater E 1102 dengan *temperature*  $430^\circ\text{C}$ . Komponen pendukung dari sistem ini adalah *temperature record*, *temperature indicator*, dan *pressure indicator*. Komponen-komponen tersebut berfungsi sebagai monitor dalam pengendalian *temperature* dan *pressure* di dalam reaktor.

#### 1. *Guide word* dan Deviasi

*Guide word* ditentukan dari data proses suatu instrumen dalam pengukurannya. Dalam hal ini, *guide word* ditentukan dari hasil *control chart* rata-rata seperti dibawah ini. Cara penentuan *guide word* juga dilihat dari seberapa banyak nilai yang berada diatas atau dibawah nilai rata-rata pengukuran serta nilai tertinggi dan terendah yang dibaca oleh *transmitter*.





**Gambar 4.2** Grafik *Control Chart x bar* TR 1201-1

Gambar diatas merupakan grafik *temperature record inlet bed I* yang beroperasi selama 30 hari. Grafik diatas menunjukkan rata-rata pengukuran *temperature* sebesar 441,33°C. Sebagian besar pembacaan transmitter dalam pengukurannya berada di wilayah *in control*. Hanya dua hari saja tepatnya pada hari ke-7 dan hari ke-8 nilai *temperature* jauh dari nilai rata-rata *temperature*. Oleh karena itu *guide word* yang digunakan adalah *low* dengan *Deviasi low temperature*. Hal ini dikarenakan *temperature* gas  $\text{SO}_2/\text{SO}_3$  yang masuk ke dalam *bed I* terlalu rendah.

Tabel *guide word* dan *Deviasi* untuk instrumen lainnya yang ada di *node* reaktor ini ditunjukkan pada tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Tabel *Guide word* dan *Deviasi* Reaktor *Bed I*

No.	Guide word	Instrument	Deviasi
1	More	Temperature Record Outlet Superheater TR 1202-6	Higher Temperature
		Pressure Indicator inlet B1	Higher Pressure
		Temperature Indicator Outlet Bed I TI 1002-4	Higher Temperature
		Pressure Indicator outlet B1	Higher Pressure
		Temperature Record Outlet Heat Exchanger I TR 1202-1	Higher Temperature
2	Less	Temperature Record Inlet Bed I TR 1201-1	Low Temperature

## 2. Estimasi Likelihood

*Estimasi likelihood* (peluang) ditentukan berdasarkan data perawatan yang terdapat pada work order bagian instrumentasi Pabrik III asam sulfat serta standar peluang milik PT Petrokimia Gresik. Kriteria peluang dapat dicari dengan menghitung waktu operasi dan *Mean Time to failure* (MTTF) pada setiap instrumen. Rumus untuk menghitung peluang terdapat pada persamaan 3.3 Tabel dibawah ini merupakan tabel perhitungan peluang dari masing-masing instrumen yang terdapat pada *node* reaktor *bed I*.

**Tabel 4.2** Tabel Kriteria *Likelihood* Reaktor *Bed I*

No	Instrumen	MTTF	<i>likelihood</i>	Kriteria <i>Likelihood</i>
1	<i>Temperature Record Outlet Superheater TR 1202-6</i>	14304	3,062080537	4
2	<i>Temperature Record Inlet Bed I TR 1201-1</i>	26232	1,669716377	2
3	<i>Pressure Indicator inlet B1</i>	14568	3,006589786	3
4	<i>Temperature Indicator Outlet Bed I TI 1002-4</i>	10764	4,069119287	5
5	<i>Pressure Indicator outlet B1</i>	14568	3,006589786	3
6	<i>Temperature Record Outlet Heat Exchanger I TR 1202-1</i>	48960	0,894607843	1

## 3. Estimasi Consequences

*Estimasi consequences* (dampak) dari *node* reaktor *bed I* ini ditentukan dari seberapa besar pengaruh yang terjadi akibat risiko

yang ditimbulkan. Penentuan kriteria dampak didapatkan dari hasil *control chart* x bar dengan melihat sampai batas mana data proses *temperature* dan *pressure* yang didapat.

Tabel dibawah ini merupakan tabel kriteria dampak sesuai dengan standar PT Petrokimia Gresik.

**Tabel 4.3** Tabel Kriteria *Consequences* Reaktor Bed I

No.	Instrument	Kriteria <i>Consequences</i>
1	<i>Temperature Record Outlet Superheater TR 1202-6</i>	2
2	<i>Temperature Record Inlet Bed I TR 1201-1</i>	3
3	<i>Pressure Indicator inlet B1</i>	3
4	<i>Temperature Indicator Outlet Bed I TI 1002-4</i>	2
5	<i>Pressure Indicator outlet B1</i>	2
6	<i>Temperature Record Outlet Heat Exchanger I TR 1202-1</i>	3

#### 4. Analisis Risiko

Analisis risiko didapatkan dari hasil perkalian antara *likelihood* (peluang) dengan *consequences* (dampak). Hasilnya merupakan tabel *risk matrix*. Tabel 4.4 merupakan tabel *risk matrix* sesuai dengan standar PT Petrokimia Gresik.

**Tabel 4.4** Tabel *Risk Matrix* Reaktor Bed I

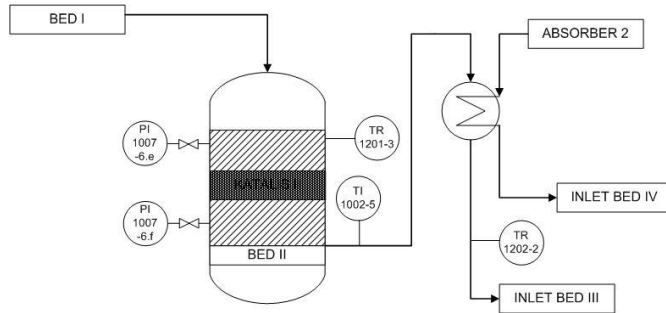
PELUANG		DAMPAK				
		<i>Insignificant</i>	<i>Minor</i>	<i>Moderate</i>	<i>Major</i>	<i>Catastrophic</i>
	NILAI	1	2	3	4	5
<i>Certain</i>	5	5	10	15	20	25
<i>Likely</i>	4	4	8	12	16	20
<i>Moderate</i>	3	3	6	9	12	15
<i>Unlikely</i>	2	2	4	6	8	10
<i>Rare</i>	1	1	2	3	4	5

Risiko rendah	: nilai 1 - 4
Risiko sedang	: nilai > 4 - 12
Risiko tinggi	: nilai > 12 - 25

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa hanya satu instrumen yang memiliki risiko rendah, sedangkan instrumen lainnya memiliki risiko sedang yang ditandai dengan warna kuning.

Tabel HAZOP *worksheet* terdapat pada lampiran A untuk *node* reaktor *Bed I* R 1201

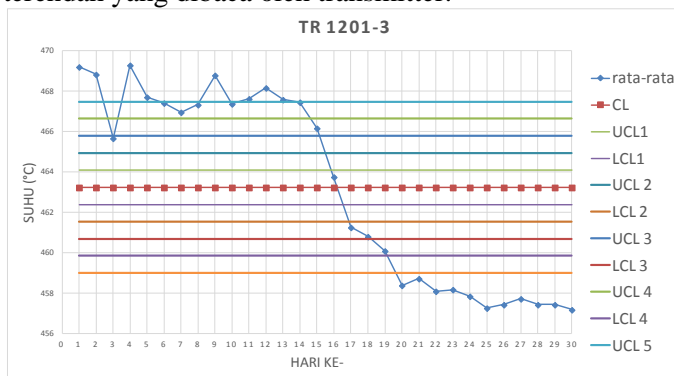
#### 4.1.2 Node Reaktor Bed II / Converter R 1201



**Gambar 4.3** Gambar Node Reaktor Bed II

##### 1. Guide word dan Deviasi

*Guide word* ditentukan dari data proses suatu instrumen dalam pengukurannya. Dalam hal ini, *guide word* ditentukan dari hasil *control chart* rata-rata seperti dibawah ini. Cara penentuan *guide word* juga dilihat dari seberapa banyak nilai yang berada diatas atau dibawah nilai rata-rata pengukuran serta nilai tertinggi dan terendah yang dibaca oleh transmitter.



**Gambar 4.4** Grafik *Control Chart* x bar TR 1201-3

Gambar diatas merupakan grafik *temperature record inlet bed II* yang beroperasi selama 30 hari. Grafik diatas menunjukkan rata-rata pengukuran *temperature* sebesar 463,23 °C. Terlihat juga bahwa nilai *temperature* setiap harinya cenderung diatas dan dibawah nilai rata-rata dari pengukuran *temperature* oleh *temperature record*. Hanya satu hari saja tepatnya pada hari ke-16 nilai *temperature* mendekati nilai rata-rata *temperature*. Oleh karena itu *guide word* yang digunakan adalah *high* dan *low* dengan Deviasi *high temperature* dan *low temperature*. Hal ini dikarenakan *temperature* gas  $\text{SO}_2/\text{SO}_3$  yang masuk ke dalam *bed II* terlalu tinggi ataupun terlalu rendah.

Tabel *guide word* dan deviasi untuk instrumen lainnya yang ada di *node* reaktor ini ditunjukkan pada tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Tabel *Guide word* dan Deviasi Reaktor *Bed II*

No.	<i>Guide word</i>	Instrumen	Deviasi
1	<i>More</i>	<i>Pressure Indicator inlet B2</i>	<i>Higher Pressure</i>
		<i>Temperature Record Inlet Bed II TR 1201-3</i>	<i>Higher Temperature</i>
		<i>Temperature Indicator Outlet Bed II TI 1002-5</i>	<i>Higher Temperature</i>
		<i>Pressure Indicator outlet B2</i>	<i>Higher Pressure</i>
2	<i>Less</i>	<i>Temperature Record Outlet Heat Exchanger II TR 1202-2</i>	<i>Lower Temperature</i>
		<i>Temperature Record Inlet Bed II TR 1201-3</i>	<i>Lower Temperature</i>

## 2. Estimasi *Likelihood*

Estimasi *likelihood* (peluang) ditentukan berdasarkan data perawatan yang terdapat pada work order bagian instrumentasi Pabrik III asam sulfat serta standar peluang milik PT Petrokimia Gresik. Kriteria peluang dapat dicari dengan menghitung waktu operasi dan *Mean Time to failure* (MTTF ) pada setiap instrumen.

Tabel dibawah ini merupakan tabel perhitungan peluang dari masing-masing instrumen yang terdapat pada *node* reaktor *bed* II.

**Tabel 4.6** Tabel Kriteria *Likelihood* Reaktor *Bed* II

No.	Instrumen	MTTF	<i>Likelihood</i>	Kriteria <i>Likelihood</i>
1	<i>Temperature Record Inlet Bed II TR 1201-3</i>	15600	2,807692308	3
2	<i>Pressure Indicator inlet B2</i>	14568	3,00658978	3
3	<i>Temperature Indicator Outlet Bed II TI 1002-5</i>	21648	2,023281596	3
4	<i>Pressure Indicator outlet B2</i>	14568	3,006589786	3
5	<i>Temperature Record Outlet Heat Exchanger II TR 1202-2</i>	24480	1,789215686	2

### 3. Estimasi *Consequences*

Estimasi *consequences* (dampak) dari *node* reaktor *bed* II ini ditentukan dari seberapa besar pengaruh yang terjadi akibat risiko yang ditimbulkan. Penentuan kriteria dampak didapatkan dari hasil *control chart* x bar dengan melihat sampai batas mana data proses *temperature* yang didapat.

Tabel dibawah ini merupakan tabel kriteria dampak sesuai dengan standar PT Petrokimia Gresik.

**Tabel 4.7** Tabel Kriteria *Consequences* Reaktor *Bed II*

No.	Instrumen	Kriteria <i>Consequences</i>
1	<i>Temperature Record Inlet Bed II</i> TR 1201-3	5
2	<i>Pressure Indicator inlet B2</i>	2
3	<i>Temperature Indicator Outlet Bed II</i> TI 1002-5	2
4	<i>Pressure Indicator outlet B2</i>	3
5	<i>Temperature Record Outlet Heat Exchanger II</i> TR 1202-2	1

#### 4. Analisis Risiko

Analisis risiko didapatkan dari hasil perkalian antara *likelihood* (peluang) dengan *consequences* (dampak). Hasilnya merupakan tabel *risk matrix*. Tabel 4.8 merupakan tabel *risk matrix* sesuai dengan standar PT Petrokimia Gresik.

**Tabel 4.8** Tabel *Risk Matrix* Reaktor *Bed II*

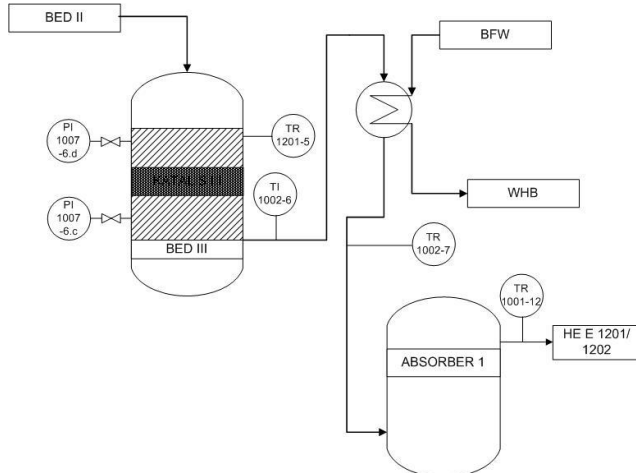
PELUANG	NILAI	DAMPAK				
		<i>Insignificant</i>	<i>Minor</i>	<i>Moderate</i>	<i>Major</i>	<i>Catastrophic</i>
<i>Certain</i>	5	5	10	15	20	25
<i>Likely</i>	4	4	8	12	16	20
<i>Moderate</i>	3	3	6	9	12	15
<i>Unlikely</i>	2	2	4	6	8	10
<i>Rare</i>	1	1	2	3	4	5

Risiko rendah	: nilai 1 - 4
Risiko sedang	: nilai > 4 - 12
Risiko tinggi	: nilai > 12 - 25

Tabel 4.8 menunjukkan bahwa instrumen *temperature indicator inlet* absorber 1 TI 1002-7 memiliki risiko sedang dengan nilai *risk* mencapai 6, sementara itu instrumen *temperature indicator outlet* absorber 1 TI 1001-12 memiliki risiko rendah dengan nilai 4.

Tabel HAZOP *worksheet* terdapat pada lampiran A untuk *node* reaktor *bed II*.

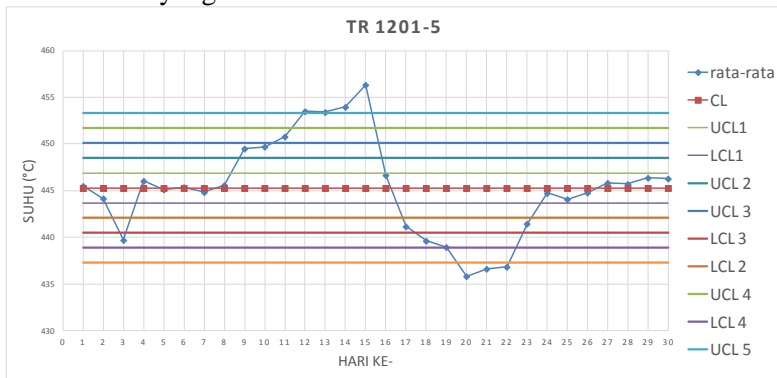
#### 4.1.3 Node Reaktor Bed III / Converter R 1201



**Gambar 4.5** Gambar Node Reaktor Bed III

##### 1. Guide word dan Deviasi

*Guide word* ditentukan dari data proses suatu instrumen dalam pengukurannya. Dalam hal ini, *guide word* ditentukan dari hasil *control chart* rata-rata seperti dibawah ini. Cara penentuan *guide word* juga dilihat dari seberapa banyak nilai yang berada diatas atau dibawah nilai rata-rata pengukuran serta nilai tertinggi dan terendah yang dibaca oleh transmitter.



**Gambar 4.6** Grafik *Control Chart* x bar TR 1201-5



Gambar diatas merupakan grafik *temperature record inlet bed III* yang beroperasi selama 30 hari. Grafik diatas menunjukkan rata-rata pengukuran *temperature* sebesar 445,28 °C. Terlihat juga bahwa nilai *temperature* setiap harinya cenderung diatas dan dibawah nilai rata-rata dari pengukuran *temperature* oleh *temperature record*. Hanya 10 hari saja nilai *temperature* mendekati nilai rata-rata *temperature*. Oleh karena itu *guide word* yang digunakan adalah *high* dan *low* dengan Deviasi *high temperature* dan *low temperature*. Hal ini dikarenakan *temperature* gas  $\text{SO}_2/\text{SO}_3$  yang masuk ke dalam *bed III* terlalu tinggi ataupun terlalu rendah.

Tabel *guide word* dan Deviasi untuk instrumen lainnya yang ada di *node* reaktor *bed III* ini ditunjukkan pada tabel 4.9.

**Tabel 4.9** Tabel *Guide word* dan Deviasi Reaktor *Bed III*

No.	<i>Guide word</i>	Instrumen	Deviasi
1	<i>More</i>	<i>Temperature Record Inlet Bed III TR 1201-5</i>	<i>Higher Temperature</i>
		<i>Pressure Indicator inlet B3</i>	<i>Higher Pressure</i>
		<i>Temperature Indicator Outlet Bed III TI 1002-6</i>	<i>Higher Temperature</i>
		<i>Temperature Indicator TI 1002-7</i>	<i>Higher Temperature</i>
		<i>Pressure Indicator outlet B3</i>	<i>Higher Pressure</i>
		<i>Temperature Indicator TI 1001-12</i>	<i>Higher Temperature</i>
2	<i>Less</i>	<i>Temperature Record Inlet Bed III TR 1201-5</i>	<i>Lower Temperature</i>
		<i>Pressure Indicator inlet B3</i>	<i>Lower Pressure</i>
		<i>Temperature Indicator TI 1002-7</i>	<i>Lower Temperature</i>

## 2. Estimasi *Likelihood*

Estimasi *likelihood* (peluang) ditentukan berdasarkan data perawatan yang terdapat pada work order bagian instrumentasi Pabrik III asam sulfat serta standar peluang milik PT Petrokimia

Gresik. Kriteria peluang dapat dicari dengan menghitung waktu operasi dan *Mean Time to failure* (MTTF) pada setiap instrumen. Tabel dibawah ini merupakan tabel perhitungan peluang dari masing-masing instrumen yang terdapat pada *node* reaktor *bed III*.

**Tabel 4.10** Tabel Kriteria *Likelihood* Reaktor *Bed III*

No.	Instrumen	MTTF	<i>Likelihood</i>	Kriteria <i>Likelihood</i>
1	<i>Temperature Record Inlet Bed III TR 1201-5</i>	15600	2,807692308	3
2	<i>Pressure Indicator inlet B3</i>	14568	3,006589786	3
3	<i>Temperature Indicator Outlet Bed III TI 1002-6</i>	23712	1,847165992	2
4	<i>Pressure Indicator outlet B3</i>	14568	3,006589786	3
5	<i>Temperature Indicator TI 1002-7</i>	40536	1,080521018	2
6	<i>Temperature Indicator TI 1001-12</i>	31752	1,379440665	2

### 3. Estimasi *Consequences*

Estimasi *consequences* (dampak) dari *node* reaktor *bed III* ini ditentukan dari seberapa besar pengaruh yang terjadi akibat risiko yang ditimbulkan. Penentuan kriteria dampak didapatkan dari hasil *control chart* x bar dengan melihat sampai batas mana data proses *temperature* yang didapat.

Tabel dibawah ini merupakan tabel kriteria dampak sesuai dengan standar PT Petrokimia Gresik.

**Tabel 4.11** Tabel Kriteria *Consequences* Reaktor *Bed III*

No.	Instrumen	Kriteria <i>Consequences</i>
1	<i>Temperature Record Inlet Bed III TR 1201-5</i>	5
2	<i>Pressure Indicator inlet B3</i>	3
3	<i>Temperature Indicator Outlet Bed III TI 1002-6</i>	3
4	<i>Pressure Indicator outlet B3</i>	3
5	<i>Temperature Indicator TI 1002-7</i>	3
6	<i>Temperature Indicator TI 1001-12</i>	2

#### 4. Analisis Risiko

Analisis risiko didapatkan dari hasil perkalian antara *likelihood* (peluang) dengan *consequences* (dampak). Hasilnya merupakan tabel *risk matrix*. Tabel 4.12 merupakan tabel *risk matrix* sesuai dengan standar PT Petrokimia Gresik

**Tabel 4.12** Tabel *Risk Matrix* Reaktor *Bed III*

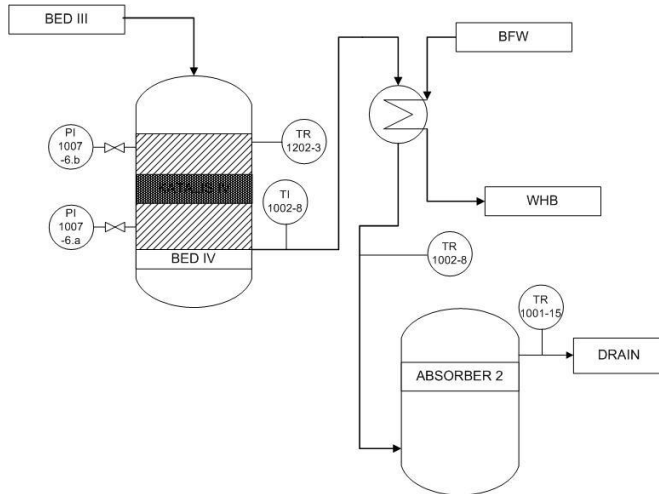
PELUANG	NILAI	DAMPAK				
		<i>Insignificant</i>	<i>Minor</i>	<i>Moderate</i>	<i>Major</i>	<i>Catastrophic</i>
		1	2	3	4	5
<i>Certain</i>	5	5	10	15	20	25
<i>Likely</i>	4	4	8	12	16	20
<i>Moderate</i>	3	3	6	9	12	15
<i>Unlikely</i>	2	2	4	6	8	10
<i>Rare</i>	1	1	2	3	4	5

Risiko rendah	: nilai 1 - 4
Risiko sedang	: nilai > 4 - 12
Risiko tinggi	: nilai > 12 - 25

Tabel 4.12 menunjukkan bahwa ada satu instrumen *temperature record* yang memiliki risiko tinggi dengan ditandai warna merah dan juga satu instrumen pada *outlet* absorber 1 TI 1001-12 memiliki risiko rendah. Sedangkan instrumen lainnya memiliki risiko sedang.

Tabel HAZOP *worksheet* terdapat pada lampiran A untuk *node* reaktor *bed III*.

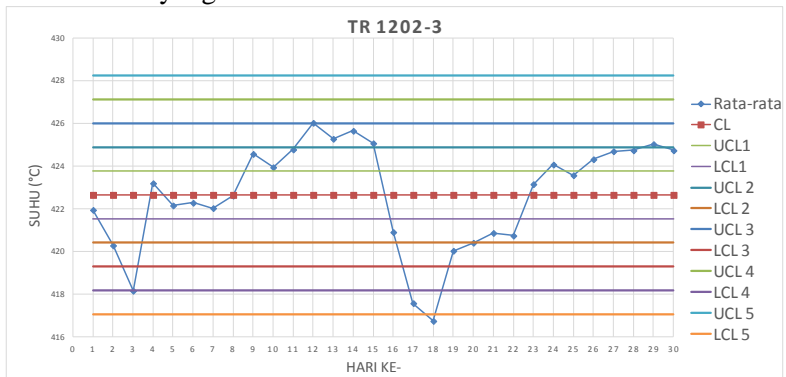
#### 4.1.4 Node Reaktor Bed IV / Converter R 1201



**Gambar 4.7** Gambar Node Reaktor Bed IV

##### 1. *Guide word* dan Deviasi

*Guide word* ditentukan dari data proses suatu instrumen dalam pengukurannya. Dalam hal ini, *guide word* ditentukan dari hasil *control chart* rata-rata seperti dibawah ini. Cara penentuan *guide word* juga dilihat dari seberapa banyak nilai yang berada diatas atau dibawah nilai rata-rata pengukuran serta nilai tertinggi dan terendah yang dibaca oleh transmitter.



**Gambar 4.8** Grafik *Control Chart* x bar TR 1202-3

Gambar diatas merupakan grafik *temperature record inlet bed IV* yang beroperasi selama 30 hari. Grafik diatas menunjukkan rata-rata pengukuran *temperature* sebesar 422,66°C. Terlihat juga bahwa nilai *temperature* setiap harinya cenderung diatas dan dibawah nilai rata-rata dari pengukuran *temperature* oleh *temperature record*. Hanya lima hari saja nilai *temperature* mendekati nilai rata-rata *temperature*. Oleh karena itu *guide word* yang digunakan adalah *high* dan *low* dengan Deviasi *high temperature* dan *low temperature*. Hal ini dikarenakan *temperature* gas  $\text{SO}_2/\text{SO}_3$  yang masuk ke dalam *bed IV* terlalu tinggi ataupun terlalu rendah.

Tabel *guide word* dan deviasi untuk instrumen lainnya yang ada di *node* reaktor *bed IV* ini ditunjukkan pada tabel 4.13.

**Tabel 4.13** Tabel *Guide word* dan Deviasi Reaktor *Bed IV*

No.	<i>Guide word</i>	Instrumen	Deviasi
1	<i>More</i>	<i>Temperature Record Inlet Bed IV TR 1202-3</i>	<i>Higher Temperature</i>
		<i>Pressure Indicator inlet B4</i>	<i>Higher Pressure</i>
		<i>Temperature Indicator Outlet Bed IV TI 1002-8</i>	<i>Higher Temperature</i>
		<i>Temperature Indicator TI 1001-15</i>	<i>Higher Temperature</i>
2	<i>Less</i>	<i>Temperature Record Inlet Bed IV TR 1202-3</i>	<i>Lower Temperature</i>
		<i>Temperature Indicator TI 1002-8</i>	<i>Lower Temperature</i>

## 2. Estimasi *Likelihood*

Estimasi *likelihood* (peluang) ditentukan berdasarkan data perawatan yang terdapat pada work order bagian instrumentasi Pabrik III asam sulfat serta standar peluang milik PT Petrokimia Gresik. Kriteria peluang dapat dicari dengan menghitung waktu operasi dan *Mean Time to failure* (MTTF) pada setiap instrumen. Tabel dibawah ini merupakan tabel perhitungan peluang dari masing-masing instrumen yang terdapat pada *node* reaktor *bed IV*.

**Tabel 4.14** Tabel Kriteria *Likelihood* Reaktor *Bed IV*

No.	Instrumen	MTTF	<i>Likelihood</i>	Kriteria <i>Likelihood</i>
1	<i>Temperature Record Inlet Bed IV TR 1202-3</i>	14328	3,056951424	4
2	<i>Pressure Indicator inlet B4</i>	14568	3,006589786	3
3	<i>Temperature Indicator Outlet Bed IV TI 1002-8</i>	15120	2,896825397	3
4	<i>Temperature Indicator TI 1002-8</i>	21624	2,025527192	3
5	<i>Temperature Indicator TI 1001-15</i>	31704	1,381529145	2

### 3. Estimasi *Consequences*

Estimasi *consequences* (dampak) dari *node* reaktor *bed IV* ini ditentukan dari seberapa besar pengaruh yang terjadi akibat risiko yang ditimbulkan. Penentuan kriteria dampak didapatkan dari hasil *control chart* x bar dengan melihat sampai batas mana data proses *temperature* yang didapat.

Tabel dibawah ini merupakan tabel kriteria dampak sesuai dengan standar PT Petrokimia Gresik.

**Tabel 4.15** Tabel Kriteria *Consequences* Reaktor *Bed IV*

No.	Instrumen	Kriteria <i>Consequences</i>
1	<i>Temperature Record Inlet Bed IV TR 1202-3</i>	5
2	<i>Pressure Indicator inlet B4</i>	4
3	<i>Temperature Indicator Outlet Bed IV TI 1002-8</i>	3
4	<i>Temperature Indicator TI 1002-8</i>	1
5	<i>Temperature Indicator TI 1001-15</i>	2

#### 4. Analisis Risiko

Analisis risiko didapatkan dari hasil perkalian antara *likelihood* (peluang) dengan *consequences* (dampak). Hasilnya merupakan tabel *risk matrix*. Tabel 4.12 merupakan tabel *risk matrix* sesuai dengan standar PT Petrokimia Gresik.

**Tabel 4.16** Tabel *Risk Matrix* Reaktor *Bed IV*

PELUANG	NILAI	DAMPAK				
		<i>Insignificant</i>	<i>Minor</i>	<i>Moderate</i>	<i>Major</i>	<i>Catastrophic</i>
		1	2	3	4	5
<i>Certain</i>	5	5	10	15	20	25
<i>Likely</i>	4	4	8	12	16	20
<i>Moderate</i>	3	3	6	9	12	15
<i>Unlikely</i>	2	2	4	6	8	10
<i>Rare</i>	1	1	2	3	4	5

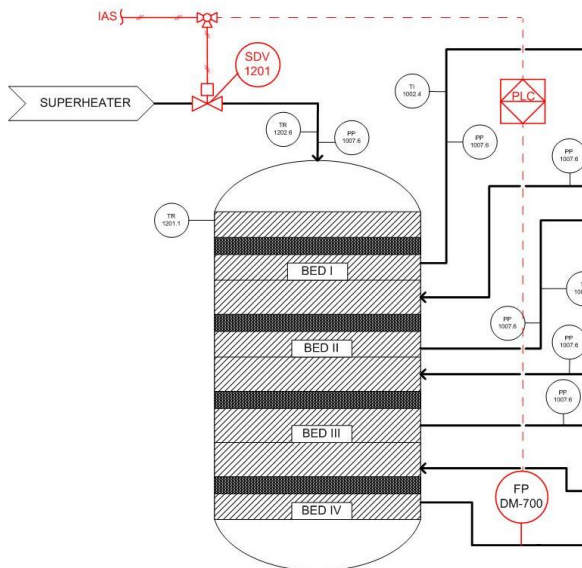
Risiko rendah	: nilai 1 - 4
Risiko sedang	: nilai > 4 - 12
Risiko tinggi	: nilai > 12 - 25

Tabel 4.16 menunjukkan bahwa ada satu instrumen *temperature record* yang memiliki risiko tinggi dengan ditandai warna merah dan juga ada dua instrumen pada *inlet* dan *outlet* absorber 2 memiliki risiko rendah. Sedangkan instrumen lainnya memiliki risiko sedang.

Tabel HAZOP *worksheet* terdapat pada lampiran A untuk *node* reaktor *bed IV*.

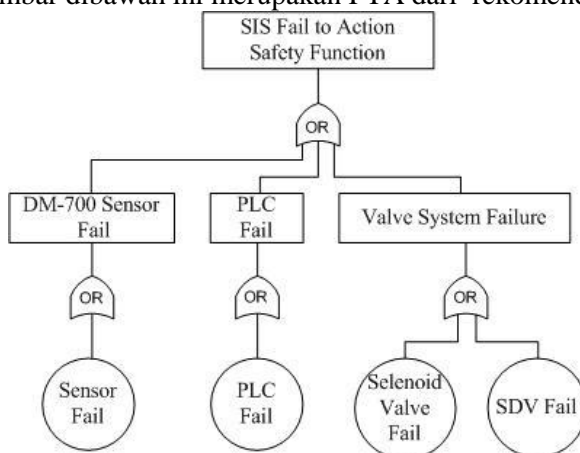
#### 4.2 Analisis SIL

Analisis SIL dalam tugas akhir ini menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA). Dalam sistem reaktor tidak ada SIF (*Safety Instrumented Function*) sehingga nilai SIL dalam sistem ini adalah no SIL. Oleh karena itu dalam penelitian ini dibuat rekomendasi berupa sistem *safety* yang berfungsi untuk mengurangi bahaya yang terjadi dan meningkatkan tingkat keamanan pada sistem tersebut. Nilai *failure rate* didapatkan dari *certificate* EXIDA dan OREDA.



**Gambar 4.9** Rekomendasi SIS

Gambar dibawah ini merupakan FTA dari rekomendasi SIS.



**Gambar 4.10** FTA SIS



Setelah memodelkan FTA, langkah selanjutnya adalah menghitung *Probability Failure on Demand* (PFD) dari masing-masing instrumen. Perhitungan PFD menggunakan persamaan 2.3.

Contoh perhitungan PFD untuk *vote* arsitektur 1oo1 :

$$\begin{aligned} \text{PFD (SDV)} &= (\lambda \times T_i) / 2 \\ &= (5,40\text{E-}06 \times 8760) / 2 \\ &= 0,0237 \end{aligned}$$

Dimana :

$\lambda$  = *failure rate*

$T_i$  = *test interval*

Nilai PFD dari instrumen SDV adalah 0,0237. Berdasarkan standar IEC 61508, nilai PFD dari SDV tergolong dalam SIL 1. Tabel dibawah ini adalah perhitungan SIL pada setiap instrumen.

**Tabel 4.17** Tabel PFD SIS

No	Instrumen	<i>Failure rate</i>	<i>Test interval (jam)</i>	<i>Vote Arsitektur</i>	PFD	SIL
1	SDV	5,40E-06	8760	1oo1	2,37E-02	1
2	Solenoid Valve	1,00E-09	8760	1oo1	4,38E-06	1
3	DM 700 gas detector	3,16E-07	8760	1oo1	1,38E-03	1
4	PLC emerson	6,00E-12	8760	1oo1	2,63E-08	1

Perhitungan PFD SIS failure :

$$P(SIS) = P(GD) \cup P(PLC) \cup P(SV) \cup P(SDV)$$

$$P(SIS) = P(GD) + P(PLC) + P(SV) + P(SDV)$$

$$P(SIS) = 0,00138 + 0,0000000263 + 0,00000438 + 0,237$$

$$P(SIS) = 0,025$$

PFD total dari SIS adalah 0,025 sehingga tergolong SIL 1.

### 4.3 Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis data di atas, analisis bahaya menggunakan metode HAZOP untuk keempat *node* atau titik studi. Pada *node* reaktor *bed* I, instrumen yang memiliki tingkat risiko sedang yaitu *temperature indicator outlet bed* I TI 1002-4 dengan nilai risiko 10. Hal ini dikarenakan seringnya instrumen ini diperbaiki dalam lima tahun terakhir dengan nilai *likelihood* sebesar 5. Artinya adalah ada perbaikan 4-5 kali dalam lima tahun berdasarkan standar PT Petrokimia Gresik. Dengan nilai risiko sedang berarti terjadi gangguan pada *temperature* keluaran dari reaktor *bed* I. Gangguan tersebut akan mempengaruhi terhadap proses selanjutnya serta penyebab gangguan tersebut bisa terjadi karena grid katalis pada *bed* I berlubang sehingga temperatur tinggi pada keluaran *bed* I.

Untuk *node* reaktor *bed* II, instrumen yang memiliki risiko tinggi dengan nilai risiko 15 adalah instrumen *temperature record inlet bed* II TR 1201-3. Dampak dari instrumen tersebut adalah catastrophic yang berarti jika instrumen ini mengalami gangguan, maka menyebabkan aktivitas proses tidak dapat berjalan. Gangguan pada *temperature* ini akan menyebabkan katalis menjadi hancur dan pebble quartz menjadi pecah serta grid katalis menjadi berlubang. Hal ini akan mengakibatkan *temperature* keluaran *bed* II tinggi dan proses akan menjadi terganggu. Kendali pada sistem ini menggunakan kendali manual yang artinya seorang operator harus siap siaga setiap jamnya untuk memonitoring nilai *temperature* pada *bed* II. Ketika terjadi gangguan dan operator terlambat sedikit, maka akan menyebabkan penurunan produksi dan kerusakan pada reaktor. Jika hal itu terjadi maka sistem akan shut down untuk memperbaiki grid katalis yang berlubang. Rekomendasi yang diberikan yaitu adanya perawatan pada instrumen dan equipment pada *bed* II secara berkala dan pemasangan safety instrumen seperti alarm sebagai peringatan adanya penyimpangan serta adanya safety instrumented system (SIS) jika terjadi perbedaan tekanan yang besar antara masukan dan keluaran pada *bed* II.

Pada *node* reaktor *bed* III, instrumen yang memiliki risiko yang paling besar yaitu instrumen *temperature record inlet bed* III dengan nilai risiko 15 yang berarti memiliki risiko tinggi. Pengaruh dari adanya gangguan pada masukan *temperature* pada *bed* III bisa menyebabkan sistem shut down. Gangguan ini juga akan menyebabkan grid katalis berlubang sehingga proses konversi gas  $\text{SO}_2$  menjadi gas  $\text{SO}_3$  menjadi terganggu dan tidak sesuai dengan standar yang seharusnya. Jika *bed* III terganggu, maka *bed* IV akan terganggu juga. Selain itu proses pada absorber 1 akan terganggu dan menyebabkan konsentrasi asam sulfat tidak sesuai dengan standar yang ada. Rekomendasi yang diberikan adalah pemasangan safety alarm sebagai peringatan dan perawatan pada instrumen serta equipment pada sistem *bed* III secara rutin.

*Node* terakhir yaitu *node* reaktor *bed* IV dengan instrumen *temperature record inlet bed* IV TR 1202-3. Instrumen tersebut memiliki nilai risiko tinggi yaitu 20. Dampak dari terjadinya gangguan pada instrumen ini akan menyebabkan sistem shut down. Gangguan ini juga akan menyebabkan grid katalis berlubang sehingga proses konversi gas  $\text{SO}_2$  menjadi gas  $\text{SO}_3$  menjadi terganggu dan tidak sesuai dengan standar yang seharusnya. Selain menyebabkan grid katalis berlubang, kondisi ini akan menyebabkan konversi kumulatif dari *bed* I sampai *bed* IV terlalu rendah. Hal ini berpengaruh pada penyerapan gas  $\text{SO}_3$  pada absorber 2 dimana konsentrasi asam sulfat tidak sesuai dengan set point yang ditentukan dan pembuangan gas  $\text{SO}_2$  yang tidak ikut dalam proses akan dibuang ke atmosfer. Kandungan gas  $\text{SO}_2$  ini jika terlalu tinggi akan menyebabkan kondisi atmosfer berbahaya. Rekomendasi yang diberikan adalah pemasangan safety alarm sebagai peringatan dan perawatan pada instrumen serta equipment pada sistem *bed* IV secara rutin. Selain perlu diberikan  $\text{SO}_x$  analyzer untuk memonitoring konverter agar gas keluaran dari *bed* IV sesuai dengan yang diinginkan.

Analisis SIL pada sistem reaktor adalah no SIL dikarenakan hanya ada sensor dan transmitter saja sehingga hanya ada monitoring dalam sistem tersebut. Perlu adanya pembuatan Safety

Instrumented System (SIS) untuk mengurangi tingkat bahaya yang terjadi dan meningkatkan tingkat keamanan pada sistem tersebut. Nilai SIL yang didapatkan dari rekomendasi SIS yang dibuat adalah SIL 1 dengan Probability Failure on Demand (PFD) sebesar 0,025.

“Halaman ini memang dikosongkan”

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari sistem reaktor komponen yang memiliki risiko tinggi adalah instrumen *temperature record inlet bed II* TR 1201-3, *temperature record inlet bed III* TR 1201-5, dan *temperature record inlet bed IV* TR 1202-3. Instrumen ini memiliki nilai risiko masing-masing sebesar 15, 15, dan 20 yang diindikasikan dalam kategori risiko tinggi berdasarkan standar PT.Petrokimia Gresik. Oleh karena itu perlu adanya perawatan secara berkala, kalibrasi rutin pada transmitter dan penambahan komponen *redundant* pada sistem di reaktor untuk mengurangi potensi bahaya yang terjadi.
2. Analisis SIL hasil rekomendasi dengan menggunakan metode FTA didapatkan bahwa nilai SIL untuk rekomendasi SIS sistem reaktor masuk dalam kategori SIL 1, dengan nilai PFD sistem mencapai 0,025. Perhitungan PFD masing-masing instrument dapat dilihat pada tabel 4.17.

#### **5.2 Saran**

Saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah untuk merancang SIS hasil rekomendasi dengan simulasi dan pengujian pada SIS hasil rekomendasi.

“Halaman ini memang dikosongkan”

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT Petrokimia Gresik. **Bagian Asam Sulfat dan Utilitas III Pabrik III.**
- [2] Kusumawardhani, Shinta. 2015. **Evaluasi Reliability Pada Sistem Air Compressor 101J Di Pabrik Ammonia PT. Petrokimia Gresik.** Laporan Tugas Akhir Teknik Fisika ITS.
- [3] ANSI/ISA-84.012. 2002 Part 3. ***Safety Instrumented Function (SIF)-Safety Integrity Level (SIL) Evaluation Techniques Part 3: Determining the Safety Integrity Level (SIL) of a Safety Instrumented Function (SIF) via Fault Tree Analysis (FTA).*** American National Standard Institute.
- [4] IEC 611508/61511. 2007. ***Manual Safety Integrity Level (SIL).*** Pepperl+Fuchs
- [5] Kristianingsih, Luluk dan Ali Musyafa'. 2013. **Risk Management and Safety System Assessment from Power Plant Steam Boiler in Power System Unit 5 Paiton-Indonesia.** Australian Journal of Basic and Applied Sciences.
- [6] Ebeling, Charles E.,1997. **An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering.** Singapore : The McGraw-Hill Companies, Inc.
- [7] Montgomery, Douglas C., 2009. **Introduction to Statistical Quality Control 6<sup>th</sup> Edition.** United States of America.
- [8] Departemen Manajemen Risiko. 2015. **"Kriteria Profil Risiko Pabrik III 2015"**. Gresik : dep Produksi III dan Dep Pemeliharaan III PT Petrokimia Gresik.
- [9] IEC- 61882. 2001a **Hazard And Operability Studies (Hazop Studies) – Application Guide.** Geneva: International Electrotechnical Commission .
- [10] Jin, jianghong, Lei pang, Shoutang Zhao, Bin Hu. 2015. **Quantitative assessment of probability of failing safely for thr safet instrumented system using reliability**



- block diagram method.** Annals of Nuclear Energy 77 (2015) 30 – 34.
- [11] Silvianita, mohd. Faris khamidi, V.J. Kurian. **An Application of Tree Analysis for Mobile Mooring System.** Universiti Teknologi PETRONAS, Malaysia.
  - [12] Jeerawongsuntorn. C, N. Sainyamsatit, T. Srinophakun. 2011. *Integration of Safety Instrumented System with Automated HAZOP Analysis : An application for continuous biodiesel production.* ScienceDirect. Hal 412-419
  - [13] Musyafa', Ali dan Erna Zulfiana. 2013. **Risk Management and Hazard and Operability Study on Steam Turbine Power Unit-5 in the Power Generation Paiton, East Java-Indonesia.** Australian Journal of Basic and Applied Sciences.
  - [14] Standard Exida. 2006. **Failure Modes, Effects and Diagnostic Analysis.** ASCO Florham Park, New Jersey USA.
  - [15] Standard Exida. 2013. **Certificate of DM-700 Toxic Gas Sensor.** The Woodlands, TX-USA.

## LAMPIRAN A TABEL HAZOP

**Tabel A-1.** Node Reaktor Bed I

No	Guide Word	Parameter Proses	Deviation	Causes	Consequences	Safeguard	L	C	R	Rekomendation
1	More	Temperature Outlet Superheater E 1102	Higher Temperature	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Tingginya temperature pada tube di superheater E 1102</li> <li>•Kebocoran pada tube superheater E 1102</li> <li>•Flow air pada tube E 1102 lamban</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Merusak pemanas pada superheater</li> <li>• Tingginya temperature inlet bed I</li> </ul>	TIC 1103	4	2	8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pemasangan temperature alarm high TAH</li> <li>• Perawatan pada equipment tube super heater E 1102</li> <li>• Perawatan pada valve butterfly superheater</li> </ul>
		Temperature Outlet Heat Exchanger E 1201	Higher Temperature	• Temperature outlet absorber 1 tinggi TI 1001-12	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Merusak HE E 1201</li> <li>• Tingginya temperature inlet bed IV</li> <li>• Konsentrasi asam sulfat terlalu tinggi</li> </ul>	None	2	2	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kalibrasi berkala TR 1202-1</li> </ul>
				• Temperature outlet bed I tinggi TI 1002-4			5	2	10	
		Pressure inlet B1	Higher Pressure	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pressure outlet superheater tinggi</li> <li>• Tingginya pressure keluaran blower C 1301/1302</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Merusak katalis dan quartz pebble</li> <li>• Kebocoran pada dinding-dinding reaktor</li> </ul>	SOP	3	3	9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penggantian terhadap katalis dan quartz pebble</li> <li>• Pemberian alarm PAH</li> <li>• Perawatan PI inlet B1</li> <li>• Pelapisan pada dinding reaktor agar tidak bocor</li> </ul>

**Tabel A-2. Lanjutan**

		Temperature Outlet Bed I	Higher Temperature	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperature katalis dan temperature inlet bed 1 TR 1201-1 tinggi</li> <li>• Grid pada katalis berlubang</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tingginya temperature pada heat exchanger E 1201</li> <li>• Temperature inlet bed IV tinggi</li> <li>• Tingginya temperature inlet bed II</li> <li>• Batu katalis dan pebble quartz jatuh ke dasar bed I</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HC 1303/1304</li> <li>• TIC 1103</li> </ul>	2	3	6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perawatan pada TI 1002-4 secara berkala</li> <li>• Pemasangan alarm high TAH</li> <li>• Pemasangan SO<sub>2</sub>/SO<sub>3</sub> analyzer</li> <li>• Penggantian grid katalis</li> </ul>
		Pressure outlet B1	Higher Pressure	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Katalis bed I menggumpal karena hancur</li> <li>• Pebble quartz pecah karena tekanan tinggi</li> <li>• Grid katalis berlubang</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konversi tidak optimum</li> <li>• Batu katalis dan pebble quartz jatuh ke dasar bed I</li> </ul>	SOP	3	2	6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pemberian alarm PAH</li> <li>• Perawatan PI outlet B1</li> <li>• Pengambilan pebble quartz dan batu katalis yang jatuh</li> <li>• Penggantian grid katalis</li> </ul>
2	Less	Temperature Inlet Bed I	Lower Temperature	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rendahnya temperature pada saat pemanasan di dalam reaktor</li> <li>• Temperature keluaran dari superheater TR 1202-6 terlalu rendah</li> <li>• Flow gas oksigen berlebih</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ada penggumpalan pada grid katalis</li> <li>• Temperature outlet bed I rendah</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HC 1303/1304</li> <li>• TIC 1103</li> </ul>	4	2	8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Otomatisasi rasio udara dan sulfur</li> <li>• Flow udara pada blower dikurangi</li> <li>• Pembersihan grid katalis</li> <li>• Perawatan pada TR 1201-1 secara berkala</li> <li>• Preventive maintenance pada HC 1301/1302 sebelum start</li> <li>• Pemasangan alarm high TAL</li> </ul>

**Tabel A-2. Node Reaktor Bed II**

No	Guide Word	Parameter Proses	Deviation	Causes	Consequences	Safeguard	L	C	R	Rekomendation
1	More	Temperature Inlet Bed II	Higher Temperature	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Tingginya temperature pada saat pemanasan di dalam reaktor</li> <li>•Temperature keluaran outlet bed I TI 1002-4 terlalu tinggi</li> <li>• Flow gas oksigen berkurang</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperature outlet bed II tinggi</li> <li>• Grid katalis berlubang</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HC 1303/1304</li> <li>• TIC 1103</li> </ul>	5	2	10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Otomatisasi rasio udara dan sulfur</li> <li>• Flow udara pada blower ditambah</li> <li>• Penggantian grid katalis</li> <li>• Perawatan pada TR 1201-1 secara berkala</li> <li>• Preventive maintenance pada HC 1301/1302 sebelum start</li> <li>• Pemasangan alarm high TAH</li> </ul>
				<ul style="list-style-type: none"> <li>•Temperature tube HE E 1201 tinggi TR 1202-1</li> </ul>			1	3	3	
		Pressure inlet B2	Higher Pressure	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tingginya pressure keluaran blower C 1301/1302</li> <li>• Pressure outlet HE E 1201 tinggi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Merusak katalis dan quartz pebble</li> <li>• Kebocoran pada dinding-dinding reaktor</li> </ul>	SOP	3	2	6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penggantian terhadap katalis dan quartz pebble</li> <li>• Pemberian alarm PAH</li> <li>• Perawatan PI inlet B2</li> <li>• Pelapisan pada dinding reaktor agar tidak bocor</li> </ul>
		Temperature Outlet Bed II	Higher Temperature	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperature katalis dan temperature inlet bed II tinggi TR 1201-3</li> <li>• Grid pada katalis berlubang</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tingginya temperature pada heat exchanger E 1202</li> <li>• Temperature inlet bed IV tinggi</li> <li>• Tingginya temperature inlet bed III</li> <li>• Batu katalis dan pebble quartz jatuh ke dasar bed II</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HC 1303/1304</li> <li>• TIC 1103</li> </ul>	3	5	15	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perawatan pada TI 1002-5 secara berkala</li> <li>• Pemasangan alarm high TAH</li> <li>• Pemasangan SO2/SO3 analyzer</li> <li>• Penggantian grid katalis</li> </ul>

**Tabel A-2. Lanjutan**

		Pressure outlet B2	Higher Pressure	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Katalis bed II menggumpal karena hancur</li> <li>• Pebble quartz pecah karena tekanan tinggi</li> <li>• Grid katalis berlubang</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konversi tidak optimum</li> <li>• Batu katalis dan pebble quartz jatuh ke dasar bed II</li> </ul>	SOP	3	3	9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pemberian alarm PAH</li> <li>• Perawatan PI outlet B2</li> <li>• Pengambilan pebble quartz dan batu katalis yang jatuh</li> <li>• Penggantian grid katalis</li> </ul>
2	Less	Temperature Outlet Heat Exchanger II E 1202	Lower Temperature	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperature outlet absorber 2 rendah TI 1001-15</li> <li>• Temperature outlet bed 2 rendah TI 1002-5</li> <li>• Kebocoran pada tube heat exchanger</li> <li>• Kebocoran pada spread arm F 1303</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rendahnya temperature inlet bed IV</li> <li>• Konsentrasi asam sulfat terlalu trendah</li> </ul>	None	3	2	6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perawatan spread arm pada demister F 1303</li> <li>• Kalibrasi berkala TR 1202-2</li> </ul>
		Temperature Inlet Bed II	Lower Temperature	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rendahnya temperature pada saat pemanasan di dalam reaktor</li> <li>• Temperature keluaran outlet bed I TI 1002-4 terlalu rendah</li> <li>• Flow gas oksigen berlebih</li> <li>• Temperature tube HE E 1201 rendah TI 1001-15</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rendahnya temperature outlet bed II</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HC 1303/1304</li> <li>• TIC 1103</li> </ul>	5	2	10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pemasangan alarm low TAL</li> </ul>

**Tabel A-3. Node Reaktor Bed III**

No	Guide Word	Parameter Proses	Deviation	Causes	Consequences	Safeguard	L	C	R	Rekomendation
1	More	Temperature Inlet Bed III	Higher Temperature	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Tingginya temperature pada saat pemanasan di dalam reaktor</li> <li>•Temperature keluaran outlet bed II TI 1002-5 terlalu tinggi</li> <li>• Flow gas oksigen berkurang</li> <li>•Temperature tube HE E 1202 tinggi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperature outlet bed III tinggi</li> <li>• Grid katalis berlubang</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HC 1303/1304</li> <li>• TIC 1103</li> </ul>	3	2	6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Otomatisasi rasio udara dan sulfur</li> <li>• Flow udara pada blower ditambah</li> <li>• Penggantian grid katalis</li> <li>• Perawatan pada TR 1201-5 secara berkala</li> <li>• Preventive maintenance pada HC 1301/1302 sebelum start</li> <li>• Pemasangan alarm high TAH</li> </ul>
		Pressure inlet B3	Higher Pressure	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tingginya pressure keluaran blower C 1301/1302</li> <li>• Pressure outlet HE E 1202 tinggi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Merusak katalis dan quartz pebble</li> <li>• Kebocoran pada dinding-dinding reaktor</li> </ul>	SOP	3	3	9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penggantian terhadap katalis dan quartz pebble</li> <li>• Pemberian alarm PAH</li> <li>• Perawatan PI inlet B3</li> <li>• Pelapisan pada dinding reaktor agar tidak bocor</li> </ul>
		Temperature Outlet Bed III	Higher Temperature	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperature katalis dan temperature inlet bed III tinggi TR 1201-5</li> <li>• Grid pada katalis berlubang</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tingginya temperature pada heat exchanger E 1203</li> <li>• Temperature inlet bed IV tinggi</li> <li>• Batu katalis dan pebble quartz jatuh ke dasar bed III</li> <li>• Tingginya temperature pada absorber 1 T 1302</li> <li>• Rate produksi turun</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HC 1303/1304</li> <li>• TIC 1103</li> </ul>	3	5	15	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perawatan pada TI 1002-6 secara berkala</li> <li>• Pemasangan alarm high TAH</li> <li>• Pemasangan SO<sub>2</sub>/SO<sub>3</sub> analyzer</li> <li>• Penggantian grid katalis</li> <li>• Pemasangan bypass valve</li> </ul>

**Tabel A-3. Lanjutan**

		Pressure outlet B3	Higher Pressure	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Katalis bed III menggumpal karena hancur</li> <li>• Pebble quartz pecah karena tekanan tinggi</li> <li>• Grid katalis berlubang</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konversi tidak optimum</li> <li>• Batu katalis dan pebble quartz jatuh ke dasar bed III</li> </ul>	SOP	3	3	9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pemberian alarm PAH</li> <li>• Perawatan PI outlet B3</li> <li>• Pengambilan pebble quartz dan batu katalis yang jatuh</li> <li>• Penggantian grid katalis</li> </ul>
		Temperature Inlet Absorber T1302	Higher Temperature	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flow BFW rendah</li> <li>• Temperature outlet bed III tinggi TI 1002-6</li> <li>• Temperature BFW tinggi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tingginya temperature outlet HE E 1201</li> <li>• Temperature T 1302 tinggi</li> </ul>	Valve BFW	2	3	6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preventive mainteance pada valve BFW</li> <li>• Flow BFW otomatis</li> <li>• Kalibrasi berkala pada TI 1002-7</li> </ul>
		Temperature Outlet Absorber T 1302	Higher Temperature	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asam dari spread arm tidak merata penyebarannya</li> <li>• Tingginya temperature inlet absorber 1 TI 1002-7</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tingginya temperature outlet HE E 1201</li> <li>• Tingginya temperature pada inlet bed III</li> </ul>	None	2	3	6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preventive mainteance pada TI 1001-12</li> <li>• Perawatan pada spread arm asam sulfat</li> </ul>
2	Less	Temperature Inlet Bed III	Lower Temperature	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rendahnya temperature pada saat pemanasan di dalam reaktor</li> <li>• Temperature keluaran dari HE E 1202 rendah TR 1202-2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rendahnya temperature outlet bed III</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HC 1303/1304</li> <li>• TIC 1103</li> </ul>	2	1	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pemasangan alarm high TAL</li> </ul>
		Pressure inlet B3	Lower Pressure	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volume katalis bed III kurang</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konversi tidak optimum</li> </ul>	SOP	3	3	9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pemberian alarm PAL</li> <li>• Perawatan PI inlet B3</li> </ul>
		Temperature Inlet Absorber T 1302	Lower Temperature	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flow BFW berlebih</li> <li>• Temperature outlet bed III rendah TI 1002-6</li> <li>• Temperature BFW rendah</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rendahnya temperature outlet HE E 1201</li> <li>• Temperature T 1302 rendah</li> </ul>	Valve BFW	2	3	6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preventive mainteance pada valve BFW</li> <li>• Flow BFW otomatis</li> <li>• Kalibrasi berkala pada TI 1002-7</li> </ul>

**Tabel A-4. Node Reaktor Bed IV**

No	Guide Word	Parameter Proses	Deviation	Causes	Consequences	Safeguard	L	C	R	Rekomendation
1	More	Temperature Inlet Bed IV	Higher Temperature	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Tingginya temperature pada saat pemanasan di dalam reaktor</li> <li>•Temperature keluaran outlet bed III TI 102-6 terlalu tinggi</li> <li>• Flow gas oksigen berkurang</li> <li>•Temperature tube HE E 1201/1202 tinggi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperature outlet bed IV tinggi</li> <li>• Grid katalis berlubang</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HC 1303/1304</li> <li>• TIC 1103</li> </ul>	2	3	6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Otomatisasi rasio udara dan sulfur</li> <li>• Flow udara pada blower ditambah</li> <li>• Penggantian grid katalis</li> <li>• Perawatan pada TR 1202-3 secara berkala</li> <li>• Preventive maintenance pada HC 1301/1302 sebelum start</li> <li>• Pemasangan alarm high TAH</li> </ul>
		Pressure inlet B4	Higher Pressure	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tingginya pressure keluaran blower C 1301/1302</li> <li>• Pressure outlet HE E 1201/1202 tinggi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Merusak katalis dan quartz pebble</li> <li>• Kebocoran pada dinding-dinding reaktor</li> </ul>	SOP	3	4	12	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penggantian terhadap katalis dan quartz pebble</li> <li>• Pemberian alarm PAH</li> <li>• Perawatan PI inlet B4</li> <li>• Pelapisan pada dinding reaktor agar tidak bocor</li> </ul>
		Temperature Outlet Bed IV	Higher Temperature	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperature katalis dan temperature inlet bed IV tinggi TR 1202-3</li> <li>• Grid pada katalis berlubang</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tingginya temperature pada heat exchanger E 1204</li> <li>• Batu katalis dan pebble quartz jatuh ke dasar bed IV</li> <li>• Tingginya temperature pada absorber 2 T 1303</li> <li>• Rate produksi turun</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HC 1303/1304</li> <li>• TIC 1103</li> </ul>	4	5	20	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perawatan pada TI 1002-8 secara berkala</li> <li>• Pemasangan alarm high TAH</li> <li>• Pemasangan SO2/SO3 analyzer</li> <li>• Penggantian grid katalis</li> <li>• Pemasangan bypass valve</li> </ul>



**Tabel A-4. Lanjutan**

		Temperature Outlet Absorber T 1303	Higher Temperature	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tingginya temperature inlet absorber 2 TI 1002-9</li> <li>• Asam dari spread arm tidak merata penyebarannya</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tingginya temperature pada inlet bed IV</li> <li>• Tingginya temperature outlet HE E 1201</li> </ul>	None	3	1	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preventive mainteance pada TI 1001-15</li> <li>• Perawatan pada spread arm asam sulfat</li> </ul>
2	Less	Temperature Inlet Bed IV	Lower Temperature	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rendahnya temperature pada saat pemanasan di dalam reaktor</li> <li>• Temperature keluaran outlet bed III TI 1002-6 terlalu rendah</li> <li>• Flow gas oksigen berlebih</li> <li>• Temperature tube HE E 1201/1202 rendah</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rendahnya temperature outlet bed IV</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HC 1303/1304</li> <li>• TIC 1103</li> </ul>	2	3	6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pemasangan alarm high TAL</li> </ul>
		Temperature Inlet Absorber T 1303	Lower Temperature	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flow BFW berlebih</li> <li>• Temperature BFW rendah</li> <li>• Temperature outlet bed IV rendah TI 1002-8</li> <li>•</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rendahnya temperature outlet HE E 1202</li> <li>• Temperature T 1302 rendah</li> </ul>	Valve BFW	3	3	9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preventive mainteance pada valve BFW</li> <li>• Flow BFW otomatis</li> <li>• Kalibrasi berkala pada TI 1002-8</li> </ul>
		Pressure inlet B4	Lower Pressure	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volume katalis bed IV kurang</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konversi tidak optimum</li> </ul>	SOP	3	4	1 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pemberian alarm PAL</li> <li>• Perawatan PI inlet B4</li> </ul>

## LAMPIRAN B

### DATA PROSES *PRESSURE* REAKTOR

Berikut adalah data proses *pressure* reaktor pada bulan Maret 2015. Data proses *pressure* reaktor ini meliputi tekanan pada *inlet* B1, *outlet* B1, *inlet* B2, *outlet* B2, *inlet* B3, *outlet* B3 dan *inlet* B4.

**Tabel B-1.** Data Proses Pressure Reaktor Pada *Inlet* B1

HARI ke- (Maret 2015)	JAM			Rata-Rata	Standar Deviasi
	12:00:00 AM	8:00:00 AM	4:00:00 PM		
1	280	300	285	288,333	8,498
2	278	0	278	185,333	131,050
3	263	286	270	273,000	9,626
4	270	306	285	287,000	14,765
5	267	285	278	276,667	7,409
6	251	300	298	283,000	22,642
7	263	291	280	278,000	11,518
8	274	294	269	279,000	10,801
9	300	300	293	297,667	3,300
10	301	293	293	295,667	3,771
11	318	300	293	303,667	10,530
12	278	298	293	289,667	8,498
13	288	309	300	299,000	8,602
14	278	300	308	295,333	12,684
15	278	315	300	297,667	15,195
16	259	300	296	285,000	18,457
17	263	296	298	285,667	16,049
18	266	300	293	286,333	14,659
19	288	296	293	292,333	3,300

**Tabel B-1. Lanjutan**

20	286	289	289	288,000	1,414
21	285	299	281	288,333	7,717
22	248	286	281	271,667	16,859
23	255	282	290	275,667	14,974
24	263	300	293	285,333	16,049
25	289	293	294	292,000	2,160
26	276	296	298	290,000	9,933
27	270	300	285	285,000	12,247
28	263	293	293	283,000	14,142
29	289	294	293	292,000	2,160
30	287	299	293	293,000	4,899

**Tabel B-2. Data Proses Pressure Reaktor Pada *Outlet* B1**

HARI ke- (Maret 2015)	JAM			Rata- Rata	Standar Deviasi
	12:00:00 AM	8:00:00 AM	4:00:00 PM		
1	251	270	255	258,667	8,179
2	247	0	248	165,000	116,673
3	248	253	242	247,667	4,497
4	248	279	255	260,667	13,275
5	232	263	248	247,667	12,658
6	217	270	267	251,333	24,308
7	225	261	251	245,667	15,173
8	236	263	242	247,000	11,576
9	263	270	255	262,667	6,128
10	276	255	255	262,000	9,899
11	289	263	255	269,000	14,514
12	263	164	255	227,333	44,902
13	250	273	263	262,000	9,416

**Tabel B-2. Lanjutan**

14	240	259	261	253,333	9,463
15	240	278	257	258,333	15,542
16	218	263	267	249,333	22,216
17	223	255	259	245,667	16,111
18	225	263	263	250,333	17,913
19	259	255	248	254,000	4,546
20	256	248	248	250,667	3,771
21	240	268	244	250,667	12,365
22	203	244	240	229,000	18,457
23	240	246	247	244,333	3,091
24	214	285	248	249,000	28,994
25	244	278	265	262,333	14,008
26	231	251	254	245,333	10,209
27	225	251	270	248,667	18,445
28	220	249	248	239,000	13,441
29	245	249	248	247,333	1,700
30	244	151	248	214,333	44,813

**Tabel B-3. Data Proses Pressure Reaktor Pada *Inlet* B2**

HARI ke- (Maret 2015)	JAM			Rata- Rata	Standar Deviasi
	12:00:00 AM	8:00:00 AM	4:00:00 PM		
1	192	218	203	204,333	10,656
2	192	0	195	129,000	91,225
3	173	184	202	186,333	11,954
4	180	219	203	200,667	16,007
5	195	210	195	200,000	7,071
6	165	210	204	193,000	19,950
7	164	216	204	194,667	22,231

**Tabel B-3. Lanjutan**

8	188	218	184	196,667	15,173
9	200	203	195	199,333	3,300
10	223	203	203	209,667	9,428
11	242	210	199	217,000	18,239
12	173	207	203	194,333	15,173
13	180	214	207	200,333	14,659
14	180	206	206	197,333	12,257
15	180	225	204	203,000	18,385
16	169	203	194	188,667	14,384
17	169	206	208	194,333	17,932
18	173	210	195	192,667	15,195
19	196	204	195	198,333	4,028
20	194	149	197	180,000	21,954
21	187	189	191	189,000	1,633
22	150	178	188	172,000	16,083
23	158	176	195	176,333	15,107
24	161	195	197	184,333	16,519
25	195	188	190	191,000	2,944
26	174	203	206	194,333	14,430
27	173	203	210	195,333	16,049
28	165	199	195	186,333	15,173
29	174	201	188	187,667	11,025
30	172	201	199	190,667	13,225

**Tabel B-4.** Data Proses Pressure Reaktor Pada *Outlet* B2

<b>HARI ke- (Maret 2015)</b>	<b>JAM</b>			<b>Rata-Rata</b>	<b>Standar Deviasi</b>
	<b>12:00:00 AM</b>	<b>8:00:00 AM</b>	<b>4:00:00 PM</b>		
1	175	203	184	187,333	11,671
2	174	0	176	116,667	82,500
3	158	166	180	168,000	9,092
4	165	203	185	184,333	15,521
5	177	195	176	182,667	8,731
6	146	188	184	172,667	18,927
7	150	198	186	178,000	20,396
8	160	199	164	174,333	17,518
9	189	188	180	185,667	4,028
10	205	180	188	191,000	10,424
11	223	191	180	198,000	18,239
12	158	188	184	176,667	13,300
13	165	193	189	182,333	12,365
14	165	188	188	180,333	10,842
15	165	203	188	185,333	15,628
16	146	188	175	169,667	17,556
17	152	188	191	177,000	17,720
18	154	191	180	175,000	15,513
19	182	188	180	183,333	3,399
20	176	129	176	160,333	22,156
21	172	172	173	172,333	0,471
22	135	161	169	155,000	14,514
23	143	157	173	157,667	12,257
24	143	180	175	166,000	16,391
25	173	173	173	173,000	0,000
26	158	180	187	175,000	12,356

**Tabel B-4. Lanjutan**

27	156	184	195	178,333	16,418
28	149	180	180	169,667	14,614
29	157	180	173	170,000	9,626
30	156	180	176	170,667	10,499

**Tabel B-5. Data Proses Pressure Reaktor Pada *Inlet* B3**

HARI ke- (Maret 2015)	JAM			Rata- Rata	Standar Deviasi
	12:00:00 AM	8:00:00 AM	4:00:00 PM		
1	140	150	143	144,333	4,190
2	121	0	135	85,333	60,610
3	113	128	142	127,667	11,842
4	120	146	143	136,333	11,614
5	120	143	135	132,667	9,534
6	112	143	139	131,333	13,768
7	113	141	132	128,667	11,671
8	124	144	119	129,000	10,801
9	149	143	135	142,333	5,735
10	149	143	135	142,333	5,735
11	156	150	139	148,333	7,040
12	113	149	139	133,667	15,173
13	120	154	140	138,000	13,952
14	120	143	146	136,333	11,614
15	120	165	143	142,667	18,373
16	105	150	148	134,333	20,758
17	113	143	146	134,000	14,900
18	113	150	143	135,333	16,049
19	146	146	143	145,000	1,414
20	142	135	135	137,333	3,300

**Tabel B-5. Lanjutan**

21	90	121	131	114,000	17,455
22	90	126	128	114,667	17,461
23	98	124	134	118,667	15,173
24	98	143	135	125,333	19,602
25	131	128	124	127,667	2,867
26	113	139	139	130,333	12,257
27	113	139	135	129,000	11,431
28	105	137	135	125,667	14,636
29	121	135	128	128,000	5,715
30	124	135	135	131,333	5,185

**Tabel B-6. Data Proses Pressure Reaktor Pada *Outlet* B3**

<b>HARI ke- (Maret 2015)</b>	<b>JAM</b>			<b>Rata- Rata</b>	<b>Standar Deviasi</b>
	<b>12:00:00 AM</b>	<b>8:00:00 AM</b>	<b>4:00:00 PM</b>		
1	132	143	135	136,667	4,643
2	112	0	128	80,000	56,944
3	105	121	131	119,000	10,708
4	113	138	135	128,667	11,146
5	114	135	128	125,667	8,731
6	101	135	127	121,000	14,514
7	105	132	124	120,333	11,324
8	119	135	111	121,667	9,978
9	142	135	128	135,000	5,715
10	142	135	128	135,000	5,715
11	149	143	132	141,333	7,040
12	105	142	135	127,333	16,049
13	113	146	139	132,667	14,197
14	113	139	140	130,667	12,499



**Tabel B-6. Lanjutan**

15	113	158	135	135,333	18,373
16	98	143	142	127,667	20,981
17	105	139	138	127,333	15,797
18	105	146	135	128,667	17,327
19	139	140	135	138,000	2,160
20	136	128	129	131,000	3,559
21	83	113	129	108,333	19,067
22	83	119	120	107,333	17,211
23	90	117	128	111,667	15,965
24	94	135	128	119,000	17,907
25	124	120	118	120,667	2,494
26	105	135	132	124,000	13,491
27	107	135	128	123,333	11,898
28	99	131	128	119,333	14,430
29	112	128	120	120,000	6,532
30	116	128	128	124,000	5,657

**Tabel B-7. Data Proses Pressure Reaktor Pada *Inlet* B4**

HARI ke- (Maret 2015)	JAM			Rata- Rata	Standar Deviasi
	12:00:00 AM	8:00:00 AM	4:00:00 PM		
1	39	45	38	40,667	3,091
2	39	0	30	23,000	16,673
3	0	18	4	7,333	7,717
4	8	38	38	28,000	14,142
5	8	38	3	16,333	15,456
6	0	38	29	22,333	16,214
7	0	45	30	25,000	18,708
8	15	36	10	20,333	11,264

**Tabel B-7. Lanjutan**

9	38	38	38	38,000	0,000
10	37	30	38	35,000	3,559
11	48	38	30	38,667	7,364
12	38	36	34	36,000	1,633
13	15	48	34	32,333	13,524
14	0	30	37	22,333	16,049
15	0	53	38	30,333	22,306
16	0	38	28	22,000	16,083
17	0	38	36	24,667	17,461
18	0	38	38	25,333	17,913
19	39	38	38	38,333	0,471
20	39	30	29	32,667	4,497
21	15	28	19	20,667	5,437
22	15	23	11	16,333	4,989
23	15	21	23	19,667	3,399
24	0	38	23	20,333	15,628
25	11	15	12	12,667	1,700
26	0	23	18	13,667	9,877
27	0	30	23	17,667	12,815
28	0	26	15	13,667	10,656
29	12	26	15	17,667	6,018
30	15	28	19	20,667	5,437

**LAMPIRAN C**  
**DATA PROSES *TEMPERATURE* REAKTOR**

**Tabel C-1.** Data Proses Pembacaan TR 1202-6

JAM	HARI ke- (Maret 2015)																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
00:00:00	422	421	171	421	422	422	421	422	423	417	418	418	418	418	417	417	421	420	420	420	419	420	420	415	415	414	414	415	414	415
01:00:00	420	422	403	420	421	423	422	422	420	418	418	418	418	418	417	417	420	420	419	420	421	420	418	414	415	415	414	414	414	414
02:00:00	422	422	424	420	421	422	421	422	421	418	418	418	417	418	417	417	420	420	419	420	421	420	418	415	415	414	414	414	414	414
03:00:00	422	421	423	419	422	422	422	422	421	418	418	417	417	418	417	417	419	420	420	420	421	420	418	415	415	414	414	414	416	414
04:00:00	421	421	420	420	423	422	422	421	421	418	418	417	417	418	417	417	419	420	421	420	422	420	419	415	415	414	414	416	414	414
05:00:00	421	422	419	419	422	422	422	421	421	418	418	417	417	418	417	417	419	420	421	421	421	420	418	415	415	415	414	415	414	414
06:00:00	421	421	419	419	422	422	422	421	421	419	418	418	417	418	417	417	419	420	419	420	421	420	419	415	415	415	414	416	414	414
07:00:00	422	421	420	418	421	422	422	422	423	419	418	418	417	418	417	417	418	420	419	420	419	419	419	415	415	414	414	414	414	414
08:00:00	422	421	421	420	423	423	421	423	422	418	418	418	418	418	417	417	419	420	422	420	420	420	420	415	414	415	415	414	414	414
09:00:00	422	422	421	415	423	424	421	420	422	418	418	418	417	418	417	416	418	420	423	420	419	420	418	414	415	415	415	415	414	414
10:00:00	422	421	420	419	423	421	421	420	421	418	420	418	417	418	418	417	418	421	420	420	419	420	419	414	414	415	414	415	415	414
11:00:00	421	422	421	420	422	421	422	420	420	418	418	418	417	419	417	418	420	421	420	420	419	420	419	415	414	414	414	415	415	414
12:00:00	421	422	421	421	422	421	421	420	419	419	418	418	417	419	416	418	418	420	420	420	420	420	421	415	415	414	414	415	415	415
13:00:00	422	423	420	420	421	421	422	420	421	420	418	418	418	419	416	418	418	420	419	420	418	419	417	415	415	414	414	414	414	414
14:00:00	422	423	420	420	422	421	421	420	421	423	418	419	418	419	416	418	418	421	419	420	420	420	418	415	414	414	414	414	414	414
15:00:00	421	422	420	421	421	423	422	420	421	419	417	418	418	417	416	418	420	421	421	420	420	418	416	415	416	414	414	414	413	414
16:00:00	421	422	420	422	425	421	422	422	421	419	418	417	417	416	417	419	419	421	421	420	420	419	417	415	416	414	415	414	414	413
17:00:00	422	422	421	422	421	420	421	420	420	418	417	418	418	416	417	418	421	422	451	420	420	419	417	415	415	414	414	415	414	414
18:00:00	421	390	421	421	421	420	420	421	421	418	417	418	418	417	417	419	421	419	420	420	420	419	416	415	415	414	414	414	414	414
19:00:00	423	313	419	426	422	422	421	421	420	418	417	419	418	417	417	419	420	421	420	420	420	419	416	415	414	415	414	414	414	414
20:00:00	422	245	420	424	423	422	420	421	420	418	417	419	418	417	417	419	420	419	419	420	420	419	415	415	415	415	414	415	414	414
21:00:00	422	371	419	424	423	422	420	425	420	419	417	419	418	417	417	420	420	419	419	421	420	419	415	415	415	414	414	414	414	414
22:00:00	422	194	419	423	423	422	420	423	420	419	418	418	418	417	417	420	420	420	420	420	420	419	415	415	414	414	414	414	414	414
23:00:00	421	171	419	422	421	421	422	423	420	419	417	419	417	417	417	422	420	419	420	421	420	419	415	415	414	414	415	414	414	414
RATA-RATA	422	386	409	421	422	422	421	421	421	419	418	418	418	418	417	418	419	420	421	420	420	420	418	415	415	414	414	415	414	414
STANDAR DEVIASI	0,64	74	49,8	2,19	1	0,92	0,73	1,28	0,94	1,11	0,64	0,61	0,5	0,84	0,44	1,32	0,99	0,75	6,27	0,33	0,87	0,58	1,7	0,33	0,58	0,47	0,37	0,7	0,4	0,35

**Tabel C-2. Data Proses Pembacaan TR 1201-1**

JAM	HARI ke- (Maret 2015)																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
00:00:00	448	447	363	448	446	445	445	446	446	443	443	443	443	443	442	441	443	444	442	443	443	443	444	439	439	439	439	440	438	439
01:00:00	447	448	397	448	447	447	446	460	445	444	443	443	443	443	442	442	442	444	441	444	445	444	442	439	440	439	439	439	439	440
02:00:00	448	449	454	448	447	446	445	445	445	444	443	442	442	443	442	441	443	444	442	443	445	443	442	439	439	438	440	439	439	439
03:00:00	448	448	425	447	446	446	460	445	445	444	443	442	442	443	442	441	443	444	442	443	445	443	442	439	439	438	440	439	439	439
04:00:00	447	447	447	447	447	446	446	444	444	444	443	442	442	443	442	441	443	444	444	444	445	443	442	439	440	439	440	439	439	438
05:00:00	447	447	447	447	447	446	446	444	445	444	443	442	442	443	442	441	442	444	444	444	444	443	442	439	440	439	439	439	439	438
06:00:00	448	447	447	447	447	446	446	444	445	444	443	443	442	443	441	442	442	444	443	443	445	443	442	440	440	439	439	439	439	439
07:00:00	448	447	447	446	446	446	446	446	446	444	443	443	442	444	442	442	442	444	443	443	443	442	443	439	440	438	439	439	439	439
08:00:00	448	448	447	447	447	447	446	448	446	444	443	443	443	443	442	442	443	444	445	444	444	443	444	440	439	440	440	439	439	439
09:00:00	448	449	448	445	447	447	446	445	446	444	443	443	443	443	442	441	442	444	445	443	443	443	442	439	439	440	439	440	439	439
10:00:00	448	448	449	446	446	446	446	445	446	444	446	443	442	444	443	442	442	445	444	443	443	443	443	440	437	439	440	440	439	439
11:00:00	448	448	448	447	446	445	446	444	445	443	444	443	443	444	443	443	420	445	444	443	443	443	442	440	439	439	439	440	439	439
12:00:00	448	449	448	447	447	445	446	444	445	444	444	443	443	444	442	443	444	444	444	443	444	443	443	439	439	439	439	440	440	439
13:00:00	448	449	447	446	446	446	447	444	444	443	443	444	443	444	442	443	443	444	443	443	442	442	443	439	439	439	439	440	440	439
14:00:00	448	448	447	446	446	446	446	444	444	444	443	443	443	444	442	443	443	444	443	443	443	443	444	439	439	439	439	438	439	438
15:00:00	448	448	447	447	445	446	446	445	444	444	443	443	443	442	441	443	443	445	445	444	444	442	441	439	439	439	439	438	438	438
16:00:00	448	449	447	447	448	447	446	446	445	444	443	442	442	441	442	442	443	444	444	444	443	443	440	439	436	439	439	439	439	438
17:00:00	448	449	447	447	446	445	446	445	445	443	443	443	443	441	442	442	445	446	445	444	443	443	440	439	438	439	439	439	439	439
18:00:00	448	436	447	447	445	444	445	445	446	443	442	444	443	442	442	443	445	443	444	443	443	443	440	439	438	439	440	439	439	439
19:00:00	449	417	447	445	445	446	445	445	445	443	442	445	443	442	442	444	444	444	444	443	444	443	440	439	438	440	440	439	439	439
20:00:00	448	401	447	445	445	445	445	445	445	443	442	444	443	442	441	443	444	443	443	444	444	443	440	437	439	439	439	439	439	439
21:00:00	448	393	447	445	446	446	445	447	445	444	442	444	443	442	441	441	444	443	443	444	444	443	440	439	439	438	439	439	439	438
22:00:00	449	383	447	446	446	445	445	446	445	444	443	443	443	443	441	439	444	443	444	444	444	443	440	438	439	439	438	439	439	439
23:00:00	448	369	447	446	445	445	446	446	445	444	443	444	442	442	441	443	444	443	444	444	443	443	440	439	439	439	440	439	439	438
rata-rata	448	436	441	447	446	446	446	446	445	444	443	443	443	443	442	442	442	444	444	444	443	443	442	439	439	439	439	439	439	439
standar deviasi	0,45	23,6	19,6	0,91	0,82	0,76	2,9	3,14	0,64	0,45	0,79	0,76	0,48	0,9	0,55	1,08	4,72	0,71	1,04	0,5	0,84	0,4	1,4	0,61	0,93	0,54	0,54	0,55	0,45	0,5

**Tabel C-3. Data Proses Pembacaan TI 1002-4**

JAM	HARI ke- (Maret 2015)																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
00:00:00	606	608	0	0	576	577	580	576	572	586	594	593	597	588	580	594	579	580	591	576	575	571	580	561	565	568	567	569	588	563
01:00:00	606	607	0	0	568	581	580	579	579	596	597	599	583	589	590	587	581	578	583	576	589	569	581	587	591	568	580	570	586	577
02:00:00	608	608	0	0	568	584	590	579	579	589	589	590	594	594	595	591	578	577	583	572	582	577	580	581	590	568	581	577	586	577
03:00:00	608	608	0	0	587	584	580	579	585	587	589	592	590	590	590	587	575	591	580	585	587	580	583	581	583	573	581	574	583	577
04:00:00	607	607	0	0	587	584	590	590	595	588	592	598	583	591	584	590	580	589	585	587	584	599	584	582	581	587	576	577	580	575
05:00:00	606	607	0	0	595	580	592	590	599	590	592	596	599	590	590	586	570	587	585	587	591	582	585	582	589	585	576	578	580	575
06:00:00	607	607	0	0	568	586	592	590	598	590	597	596	594	589	587	582	578	587	579	590	590	585	585	577	597	588	576	573	578	577
07:00:00	607	609	0	0	594	586	587	588	588	588	599	586	588	589	589	581	578	581	586	588	579	567	585	582	582	580	567	569	574	577
08:00:00	607	609	0	0	596	586	587	584	598	588	599	589	582	584	589	588	575	575	590	588	576	593	563	571	564	562	565	570	575	575
09:00:00	607	609	0	0	595	590	581	580	598	594	589	593	592	590	589	580	586	567	601	587	576	578	562	560	566	567	555	562	564	568
10:00:00	607	149	0	0	581	595	592	580	595	590	595	594	588	576	590	586	583	562	579	588	564	578	561	557	560	557	560	560	560	570
11:00:00	607	0	0	0	578	595	584	569	594	585	599	590	586	598	590	586	566	566	555	588	570	570	557	556	563	569	558	560	563	570
12:00:00	607	0	0	0	578	590	578	575	590	579	590	589	586	598	576	564	572	565	562	562	560	568	563	569	565	567	577	561	564	555
13:00:00	608	0	0	0	576	590	572	575	590	591	586	576	582	575	576	564	567	565	557	562	558	563	567	568	565	580	564	564	562	552
14:00:00	609	0	0	0	552	584	587	577	590	593	588	576	576	575	576	565	556	567	551	562	558	566	567	568	564	565	565	560	561	552
15:00:00	607	0	0	569	564	586	579	574	590	584	581	576	576	570	574	570	565	567	560	569	564	566	568	568	572	561	564	560	561	558
16:00:00	607	0	0	572	583	585	567	582	580	583	582	579	571	569	574	570	567	566	560	575	564	565	559	566	572	565	563	562	565	560
17:00:00	607	0	0	572	581	583	576	574	575	584	583	586	571	584	574	575	568	573	565	567	560	568	560	566	569	562	567	565	568	558
18:00:00	608	0	0	572	579	599	575	570	578	575	583	586	571	588	574	565	563	569	566	569	560	568	561	563	565	566	567	565	567	558
19:00:00	609	0	0	603	578	594	575	570	576	573	581	588	573	602	591	573	565	561	565	564	568	570	563	570	558	566	563	569	569	567
20:00:00	609	0	0	581	588	595	575	570	584	578	589	588	567	598	587	588	570	590	559	582	570	579	562	564	573	571	565	562	568	561
21:00:00	609	0	0	572	584	588	577	571	578	587	597	598	572	590	590	575	568	598	561	583	570	579	575	573	572	565	557	566	569	549
22:00:00	609	0	0	575	573	586	576	574	586	583	592	597	574	589	590	569	568	598	561	594	570	578	572	574	570	568	562	568	561	572
23:00:00	608	0	0	576	579	580	576	572	576	594	583	597	583	588	597	580	584	591	568	579	572	584	562	563	565	567	565	584	563	571
rata-rata	608	260		216	580	587	581	578	586	586	590	590	582	587	585	579	573	577	572	578	572	575	570	570	573	570	568	568	571	566
standar deviasi	0,96	296		279	10,5	5,43	6,87	6,53	8,36	5,77	5,91	7,02	9,07	8,53	7,26	9,39	7,5	11,6	13,5	10,1	10,4	8,98	9,79	8,56	10,7	8,1	7,53	6,58	8,95	9,14

**Tabel C-4.** Data Proses Pembacaan TR 1201-3

JAM	HARI ke- (Maret 2015)																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
00:00:00	469	469	462	469	468	467	465	466	467	469	467	468	468	468	467	466	461	461	459	458	459	458	458	458	458	456	457	458	456	458
01:00:00	469	469	464	471	468	468	467	467	467	467	467	468	468	468	466	466	462	461	460	459	459	459	458	459	458	456	458	458	457	458
02:00:00	469	469	396	471	468	467	467	468	467	467	467	468	467	468	466	466	461	461	460	459	459	457	458	458	458	456	458	458	457	458
03:00:00	469	469	457	470	467	467	467	468	468	467	467	467	467	467	466	465	462	460	460	459	459	457	458	457	458	457	458	457	456	458
04:00:00	468	469	468	469	468	467	467	468	468	467	466	467	467	467	466	465	462	461	460	458	460	457	458	458	458	457	458	457	456	456
05:00:00	468	468	470	470	468	468	467	468	468	467	466	467	467	468	466	465	462	461	461	458	460	457	458	457	459	458	458	457	456	456
06:00:00	468	468	470	470	468	468	467	468	468	468	467	468	467	468	466	466	462	461	461	458	460	457	458	458	459	458	458	457	456	456
07:00:00	469	469	470	470	469	468	466	467	466	468	467	468	467	468	466	466	461	461	460	459	459	458	458	458	458	457	457	457	457	457
08:00:00	469	469	470	469	467	467	467	466	468	469	467	468	467	468	466	466	461	461	460	458	458	456	457	458	458	456	457	457	457	457
09:00:00	469	469	470	469	468	466	467	468	468	468	467	468	468	468	466	466	462	461	460	458	458	460	457	458	457	458	458	458	457	457
10:00:00	469	469	471	469	469	468	467	468	469	468	468	468	467	468	468	466	461	461	462	459	459	460	458	458	455	458	458	459	459	458
11:00:00	469	470	470	470	468	468	467	468	470	468	469	469	467	469	468	460	460	461	461	458	459	460	458	459	456	458	458	459	459	458
12:00:00	470	470	471	470	468	468	467	468	469	467	468	469	468	469	467	458	461	461	461	458	459	460	458	457	458	458	458	459	460	458
13:00:00	470	469	471	470	467	468	466	468	470	467	469	469	468	469	467	463	461	461	461	458	459	459	456	458	458	458	458	459	459	457
14:00:00	470	469	470	470	467	469	467	468	470	466	469	469	468	469	467	464	461	461	460	458	458	459	456	458	458	458	458	458	458	457
15:00:00	469	469	470	470	468	468	467	467	469	467	468	468	468	468	466	465	460	461	461	459	459	458	453	458	456	457	458	455	456	457
16:00:00	469	469	469	469	466	468	466	466	469	467	468	468	468	466	465	461	461	460	460	458	458	458	461	458	456	457	456	456	456	456
17:00:00	469	469	469	470	466	466	466	466	470	468	468	467	468	465	465	463	461	461	460	458	458	458	461	458	458	457	457	457	458	456
18:00:00	470	468	469	470	468	467	468	467	470	467	469	468	468	466	465	462	462	462	460	458	458	458	460	458	457	458	458	457	458	457
19:00:00	470	472	470	470	468	467	468	467	470	467	467	469	468	466	466	463	462	460	460	458	458	458	460	458	456	458	458	457	458	457
20:00:00	470	470	470	466	467	467	468	467	470	466	467	469	468	466	465	463	461	461	460	459	458	458	460	456	455	458	458	457	458	457
21:00:00	470	469	470	466	468	467	468	467	470	467	468	469	468	466	466	463	461	460	458	459	458	457	459	457	456	458	458	457	458	458
22:00:00	470	467	470	467	468	467	468	468	470	467	468	469	468	467	466	461	461	460	458	459	458	457	459	458	457	458	457	457	458	458
23:00:00	469	464	469	468	468	467	467	467	470	468	469	468	467	467	466	461	461	460	459	458	459	458	459	458	457	458	458	457	458	457
rata-rata	469	469	466	469	468	467	467	467	469	467	468	468	468	467	466	464	461	461	460	458	459	458	458	458	457	457	458	457	457	457
standar deviasi	0,64	1,34	14,9	1,31	0,73	0,7	0,73	0,75	1,22	0,75	0,9	0,69	0,49	1,12	0,8	2,26	0,6	0,5	0,91	0,48	0,68	1,11	1,67	0,62	1,13	0,76	0,54	0,95	1,15	0,75

**Tabel C-5. Data Proses Pembacaan TI 1002-5**

JAM	HARI ke- (Maret 2015)																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
00:00:00	513	515	384	513	514	514	514	513	512	522	519	521	524	523	523	522	508	508	503	505	505	505	505	514	514	514	514	517	515	516
01:00:00	513	515	502	516	515	515	514	513	515	519	519	522	522	524	523	522	510	508	507	505	505	506	507	515	515	514	516	516	515	517
02:00:00	514	515	514	516	515	514	514	515	515	519	519	522	523	524	522	522	509	508	507	505	505	506	507	514	514	514	516	516	516	517
03:00:00	514	515	514	515	514	514	514	515	516	519	519	521	523	523	522	522	509	508	507	505	505	506	507	514	514	516	516	512	516	517
04:00:00	513	514	514	515	514	514	514	514	516	519	519	521	523	523	522	522	509	508	507	505	509	506	507	514	515	518	516	512	516	517
05:00:00	513	514	517	514	515	515	514	514	516	520	519	521	522	524	522	522	510	508	507	505	508	506	507	515	515	518	515	514	516	517
06:00:00	513	514	517	514	515	515	514	514	516	520	519	521	522	524	522	522	510	508	508	507	507	506	505	514	516	518	515	515	516	517
07:00:00	514	514	516	515	516	515	513	514	513	520	518	521	522	523	522	522	520	508	508	507	505	506	504	514	516	514	515	515	516	519
08:00:00	514	514	516	0	514	515	514	510	516	520	518	521	522	524	522	522	520	508	506	505	505	503	504	515	516	514	514	515	516	519
09:00:00	514	514	516	0	514	512	514	517	516	520	518	522	522	524	522	521	511	508	509	505	505	510	506	515	516	516	517	517	516	516
10:00:00	514	514	516	0	516	515	514	517	517	520	518	523	522	524	525	521	511	509	511	505	508	510	507	516	513	517	517	518	518	517
11:00:00	515	514	516	514	514	515	514	517	520	520	519	524	522	525	525	512	520	509	509	506	508	510	507	516	515	515	517	518	518	516
12:00:00	515	514	515	515	514	516	513	517	520	515	520	524	522	525	525	510	520	509	509	506	507	510	508	516	516	515	517	518	518	516
13:00:00	515	513	514	516	512	516	514	517	519	516	522	525	523	526	525	510	509	509	508	505	507	510	520	516	516	515	517	519	520	517
14:00:00	515	513	515	515	514	516	514	516	519	516	522	525	523	526	525	512	509	509	508	505	505	509	520	516	516	516	517	518	519	517
15:00:00	515	514	515	515	514	515	512	514	519	518	522	525	524	521	522	511	509	509	507	506	505	508	519	515	511	516	516	515	515	517
16:00:00	514	514	515	515	510	514	510	511	521	519	521	523	523	521	521	511	509	507	507	505	505	506	517	515	511	515	512	515	514	514
17:00:00	514	514	514	515	510	513	513	513	522	519	521	522	523	520	521	511	508	509	508	505	505	505	517	515	514	515	515	516	516	514
18:00:00	514	475	514	516	516	514	516	514	523	519	521	522	523	521	521	511	509	510	508	506	505	506	516	515	514	516	516	517	517	515
19:00:00	515	442	514	512	515	515	516	515	523	519	523	523	523	522	522	511	508	508	508	506	504	506	515	514	511	517	517	517	517	516
20:00:00	515	421	515	509	515	515	516	515	523	518	523	523	524	522	522	512	508	508	507	506	503	506	515	514	508	516	517	517	517	516
21:00:00	515	409	515	510	515	515	516	516	524	519	523	524	523	523	522	510	507	508	505	506	504	506	515	515	512	516	516	517	517	517
22:00:00	516	400	515	510	515	515	516	515	524	519	523	524	523	522	522	510	507	508	505	507	505	505	515	517	514	516	516	517	517	517
23:00:00	515	384	514	514	516	514	511	512	524	519	521	524	523	523	522	509	508	503	505	506	505	506	516	516	514	514	517	516	516	515
rata-rata	514	491	509	450	514	515	514	515	519	519	520	523	523	523	523	516	511	508	507	506	506	507	511	515	514	516	516	516	517	517
standar deviasi	0,83	42,6	26,2	170	1,56	0,9	1,47	1,87	3,6	1,47	1,76	1,4	0,66	1,53	1,32	5,55	4,25	1,24	1,61	0,7	1,47	1,94	5,51	0,87	2,04	1,28	1,24	1,74	1,32	1,19

**Tabel C-6. Data Proses Pembacaan TR 1201-5**

JAM	HARI ke- (Maret 2015)																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
00:00:00	446	446	435	445	445	445	445	444	443	453	450	453	454	454	453	452	440	440	439	436	436	435	436	444	444	443	445	446	445	446
01:00:00	445	446	416	448	446	446	445	444	445	450	449	453	453	454	453	453	441	440	438	437	436	436	437	445	445	443	446	446	445	447
02:00:00	446	445	380	448	446	445	445	447	446	449	449	452	453	454	453	452	442	440	439	437	437	436	439	445	445	444	446	446	445	447
03:00:00	445	446	401	447	445	445	445	447	447	449	449	452	453	454	453	452	442	440	439	437	437	436	438	444	445	445	446	443	445	447
04:00:00	444	445	441	446	445	445	445	447	447	450	449	452	453	454	453	452	443	441	439	435	438	436	438	444	445	445	446	443	445	446
05:00:00	444	445	446	447	446	445	445	447	447	450	449	452	453	454	453	452	442	441	439	434	438	436	438	444	445	446	446	444	445	446
06:00:00	444	445	446	447	445	446	445	447	447	450	449	452	453	454	452	452	442	441	440	435	438	436	437	445	446	446	446	445	444	445
07:00:00	445	445	447	447	447	446	444	445	445	451	449	453	453	454	453	453	442	440	440	437	437	436	437	444	445	444	445	445	445	446
08:00:00	445	445	447	445	445	444	444	443	447	451	449	452	452	454	453	453	442	440	438	436	436	433	435	445	445	442	443	445	446	446
09:00:00	445	445	446	446	444	443	445	443	447	451	449	452	453	454	453	452	442	440	438	436	436	439	435	445	445	444	446	444	446	446
10:00:00	445	446	447	446	446	446	446	442	448	451	449	454	453	454	455	452	442	440	441	437	437	439	436	445	443	446	447	448	449	447
11:00:00	446	446	447	447	446	447	446	448	450	451	450	455	453	455	456	443	441	440	441	436	438	439	437	446	443	446	447	448	449	447
12:00:00	447	446	447	447	444	447	444	448	451	449	450	455	453	456	455	442	441	440	441	436	438	440	437	445	445	446	447	448	449	447
13:00:00	446	445	447	447	443	447	442	448	451	449	453	455	453	456	455	441	441	440	440	436	437	440	448	445	445	446	447	448	449	447
14:00:00	446	445	447	447	444	447	444	447	451	447	453	455	453	456	455	442	441	440	440	436	437	439	449	445	446	446	446	447	449	447
15:00:00	446	446	445	447	446	447	445	446	450	448	453	454	455	455	453	442	441	441	439	437	436	438	449	446	445	445	447	444	445	447
16:00:00	446	446	445	446	442	444	442	444	451	449	453	454	454	453	453	440	441	430	439	435	436	437	447	445	442	445	446	444	444	445
17:00:00	446	446	445	447	444	444	443	443	452	450	453	453	454	455	453	442	441	439	438	432	437	437	447	445	444	444	442	448	446	445
18:00:00	445	442	446	447	446	445	446	444	453	449	453	453	454	452	453	443	441	441	439	436	437	436	447	446	444	443	444	446	447	446
19:00:00	446	443	446	447	446	445	447	446	454	448	451	454	454	453	453	443	440	440	439	435	436	436	446	445	443	446	446	446	447	446
20:00:00	446	441	446	442	445	445	448	446	454	449	452	455	454	452	525	443	440	440	438	436	435	436	446	442	440	446	447	446	447	446
21:00:00	446	440	447	442	445	445	447	447	454	449	452	455	454	453	452	442	440	439	437	436	435	436	445	443	441	446	447	446	447	447
22:00:00	446	439	447	442	446	445	444	447	454	450	453	455	454	453	452	442	440	439	437	436	435	436	445	445	443	442	447	446	447	447
23:00:00	446	436	446	445	446	445	444	444	454	450	453	454	454	453	453	440	440	439	437	436	436	436	446	446	444	446	445	445	447	445
rata-rata	446	444	440	446	445	445	445	446	450	450	451	454	453	454	456	447	441	440	439	436	437	437	441	445	444	445	446	446	446	446
standar deviasi	0,76	2,61	16,4	1,72	1,13	1,07	1,4	1,82	3,32	1,24	1,78	1,19	0,64	1,02	14,4	5,22	0,85	2,1	1,17	1,11	0,95	1,67	5,08	0,92	1,47	1,35	1,28	1,54	1,63	0,73



**Tabel C-7. Data Proses Pembacaan TI 1002-6**

JAM	HARI ke- (Maret 2015)																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
00:00:00	447	448	344	446	446	448	448	445	446	460	455	459	462	462	462	461	442	442	441	438	436	436	438	453	453	452	455	457	456	457
01:00:00	447	448	400	449	447	448	448	446	447	457	455	460	461	462	462	462	444	442	440	438	436	436	439	454	454	452	456	457	456	458
02:00:00	447	448	400	449	447	448	448	446	447	456	455	460	462	462	462	461	444	442	440	439	437	439	439	454	454	457	456	457	456	458
03:00:00	447	448	443	449	447	448	448	446	451	455	455	460	462	462	462	461	444	442	441	438	438	439	439	453	454	457	456	452	457	458
04:00:00	446	447	443	449	447	448	448	451	451	445	455	459	462	462	461	461	444	442	441	438	441	439	440	453	455	458	456	452	457	458
05:00:00	446	447	448	447	448	448	448	451	451	446	455	459	461	462	461	461	445	442	441	438	441	439	441	454	455	457	456	453	457	458
06:00:00	446	447	448	447	448	448	448	451	450	456	455	459	461	462	461	461	445	442	442	439	440	439	439	454	455	458	456	455	457	458
07:00:00	447	447	456	448	449	448	447	448	447	457	455	459	461	462	461	461	446	442	442	440	439	438	439	454	456	454	456	456	457	458
08:00:00	447	447	456	448	447	446	447	444	451	457	455	459	460	462	461	461	446	442	440	440	438	436	437	454	455	453	454	456	457	458
09:00:00	447	447	456	448	447	445	447	450	451	456	455	460	460	462	461	460	446	443	442	440	438	442	439	455	455	455	458	458	457	457
10:00:00	447	447	456	448	448	449	448	450	451	456	455	461	460	462	464	460	446	442	444	440	441	442	440	456	454	457	458	459	459	457
11:00:00	448	447	456	448	448	449	447	451	455	456	455	463	461	464	464	455	445	443	443	440	441	443	440	456	455	456	458	459	459	457
12:00:00	448	447	448	448	448	450	446	451	456	453	456	463	461	464	465	445	444	443	443	439	439	443	441	456	456	456	457	459	459	457
13:00:00	448	446	448	449	445	450	446	451	454	452	459	464	461	464	465	445	444	443	442	439	439	444	456	456	456	456	458	460	461	458
14:00:00	448	446	448	449	446	450	446	451	454	452	459	464	461	465	465	445	444	443	442	439	439	443	456	456	455	456	457	460	460	458
15:00:00	448	447	448	449	448	449	446	449	454	453	460	464	463	461	462	446	444	443	441	439	438	445	457	455	452	454	457	456	457	458
16:00:00	447	447	448	449	443	447	443	445	456	454	459	462	462	461	461	445	443	442	440	438	439	440	456	455	452	454	452	455	456	457
17:00:00	447	447	447	449	447	446	445	445	458	455	459	460	462	460	461	445	443	442	441	437	439	439	456	455	453	456	453	456	457	457
18:00:00	447	383	448	449	449	448	449	447	459	455	459	460	462	460	461	446	443	443	441	437	439	439	456	455	454	457	455	457	457	457
19:00:00	447	332	447	448	449	448	451	449	460	455	460	461	462	460	461	446	442	443	441	438	437	439	456	454	451	457	458	458	458	458
20:00:00	447	296	447	443	448	448	451	449	460	454	460	461	462	461	461	446	442	443	439	439	436	439	454	454	448	457	458	458	459	458
21:00:00	447	298	448	443	448	448	451	451	461	455	461	462	462	462	460	445	442	443	439	439	436	439	454	454	450	456	458	458	459	458
22:00:00	448	265	448	443	448	448	451	450	461	455	461	462	462	461	461	445	442	442	439	439	436	439	454	455	452	455	458	457	458	458
23:00:00	448	244	447	446	449	448	445	446	461	455	459	462	462	462	461	442	442	441	438	439	436	438	455	456	453	455	457	456	458	456
rata-rata	447	411	441	448	447	448	448	448	454	454	457	461	461	462	462	453	444	442	441	439	438	440	447	455	454	456	456	457	458	458
standar deviasi	0,62	66,4	24,6	1,94	1,35	1,17	2	2,43	4,78	3,17	2,34	1,7	0,76	1,24	1,47	7,8	1,37	0,56	1,4	0,88	1,72	2,43	8,11	0,99	1,95	1,68	1,63	2,15	1,31	0,57

**Tabel C-8. Data Proses Pembacaan TR 1202-1**

JAM	HARI ke- (Maret 2015)																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
00:00:00	343	345	139	344	147	344	345	345	344	351	348	351	350	350	350	349	340	340	336	362	361	361	360	367	368	368	368	369	369	370
01:00:00	342	344	123	346	156	337	345	345	346	348	348	350	349	349	350	350	342	340	338	361	361	362	364	369	368	367	369	370	369	370
02:00:00	344	344	195	346	157	345	345	347	347	348	349	349	350	350	350	348	341	340	338	362	362	363	364	368	368	369	370	370	369	370
03:00:00	343	345	269	346	170	330	346	347	347	348	346	350	351	350	350	348	342	341	339	362	362	363	364	369	368	369	370	365	368	371
04:00:00	442	344	273	346	170	338	346	346	347	348	346	348	351	350	351	348	342	342	340	362	363	362	364	367	368	369	370	365	368	370
05:00:00	342	343	346	346	201	345	346	347	347	348	348	349	350	350	351	348	342	342	340	361	363	362	363	368	369	369	369	367	368	370
06:00:00	342	344	346	346	182	346	346	347	347	348	347	349	351	350	350	348	343	340	341	361	364	362	363	368	368	370	369	368	367	369
07:00:00	343	342	346	345	225	341	345	345	344	349	348	349	349	350	349	349	342	341	341	363	362	361	362	367	368	368	369	369	369	370
08:00:00	343	343	94	345	178	305	345	343	347	349	348	349	350	351	349	349	343	340	338	362	361	360	361	368	368	367	368	368	369	370
09:00:00	344	344	329	0	189	343	345	348	347	348	348	349	349	351	349	349	343	341	340	362	362	366	362	369	368	369	370	371	369	370
10:00:00	345	344	147	268	230	347	346	348	347	349	348	350	350	351	351	349	343	342	342	363	364	366	363	369	368	370	370	371	372	370
11:00:00	345	344	134	286	244	347	346	348	349	350	349	352	350	351	352	342	341	341	342	362	364	366	364	369	366	369	371	371	372	370
12:00:00	346	343	138	286	268	347	344	347	349	346	348	352	350	351	351	342	341	340	341	362	363	365	363	368	369	369	370	372	373	370
13:00:00	346	344	173	289	268	347	343	347	345	343	350	352	350	353	351	340	341	340	342	361	362	365	372	368	369	369	370	371	372	370
14:00:00	346	344	180	0	264	347	345	347	345	341	351	352	350	352	351	341	341	341	341	361	361	364	373	369	369	370	370	371	371	370
15:00:00	345	343	344	164	281	347	344	347	347	346	350	351	352	352	349	342	342	341	339	362	362	364	372	369	364	369	369	368	368	368
16:00:00	343	344	345	332	300	344	342	343	348	347	350	351	350	349	349	342	342	340	339	362	362	363	370	368	364	368	366	368	368	369
17:00:00	344	344	345	346	302	345	315	344	350	348	351	349	351	349	349	343	341	339	361	362	362	362	370	368	367	369	368	369	370	369
18:00:00	343	237	346	347	304	345	316	345	351	348	350	349	350	348	349	343	341	341	361	362	362	362	370	369	367	370	368	369	370	369
19:00:00	344	392	345	76	285	346	347	346	351	348	349	350	350	349	349	344	341	341	363	362	362	362	370	368	366	370	369	369	370	370
20:00:00	344	384	346	87	150	346	347	346	351	347	349	351	350	349	348	344	341	339	363	363	361	362	370	367	364	369	370	369	370	370
21:00:00	344	378	346	116	194	346	346	347	351	348	349	351	350	349	348	341	340	339	362	363	361	362	368	368	366	369	370	369	370	369
22:00:00	344	126	317	145	301	346	346	345	351	348	350	350	350	350	347	336	341	339	361	362	361	362	368	369	367	369	369	369	370	368
23:00:00	344	357	346	153	337	345	344	344	351	349	350	350	350	349	347	339	340	338	361	361	361	363	369	369	368	369	369	370	371	368
rata-rata	348	336	263	250	229	342	343	346	348	348	349	350	350	350	350	345	342	340	346	362	362	363	366	368	367	369	369	369	370	370
standar deviasi	19,6	51,1	93,8	119	58,5	8,74	8,28	1,47	2,26	2,02	1,33	1,17	0,67	1,17	1,29	3,92	0,91	1,03	10,1	0,64	0,98	1,63	3,9	0,72	1,51	0,81	1,04	1,73	1,52	0,76

**Tabel C-9. Data Proses Pembacaan TR 1202-2**

JAM	HARI ke- (Maret 2015)																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
00:00:00	357	0	0	0	351	366	369	368	359	358	354	355	376	367	358	360	359	360	373	375	366	373	373	358	357	369	370	349	367	378
01:00:00	356	0	0	0	357	364	364	366	354	358	364	360	374	362	359	353	359	370	375	370	367	362	369	368	377	366	364	354	364	380
02:00:00	362	0	0	0	356	353	372	368	358	359	359	364	376	363	379	359	372	372	375	372	373	360	358	365	363	358	369	361	363	385
03:00:00	360	0	0	0	362	353	368	368	363	361	361	357	369	362	365	357	356	375	380	376	370	360	359	371	363	362	369	362	360	378
04:00:00	356	0	0	0	368	352	376	369	363	360	362	361	369	362	366	357	356	363	372	374	368	367	356	368	362	370	360	364	362	375
05:00:00	354	0	0	0	358	363	376	369	377	363	362	360	370	365	366	357	356	367	370	364	374	374	369	367	367	366	359	360	362	378
06:00:00	355	0	0	0	361	362	373	373	377	364	354	363	377	362	347	357	359	370	363	366	374	377	375	361	369	368	358	363	361	381
07:00:00	359	0	0	0	358	345	367	359	354	357	360	357	369	367	341	344	346	354	369	361	351	347	354	346	350	346	348	341	342	361
08:00:00	359	0	0	0	361	340	334	360	363	352	341	351	356	370	341	339	335	353	365	353	342	361	340	337	353	336	342	342	330	369
09:00:00	358	0	0	0	345	349	327	349	363	337	341	342	343	363	341	326	345	345	359	330	339	343	337	319	345	345	327	338	326	356
10:00:00	363	0	0	337	331	335	344	344	344	340	350	345	342	353	333	326	334	330	346	334	337	343	323	316	353	340	318	313	331	329
11:00:00	361	0	0	344	314	340	347	341	339	327	338	346	342	352	332	333	326	333	343	340	319	343	326	323	339	358	325	314	330	337
12:00:00	361	0	0	343	337	345	340	343	350	337	349	346	340	363	346	333	329	340	351	343	334	335	333	330	356	358	346	326	331	320
13:00:00	359	0	0	338	345	345	346	347	371	330	353	349	351	347	346	346	336	340	355	346	350	335	340	340	356	356	331	322	327	339
14:00:00	363	0	0	340	347	338	350	350	371	361	351	346	348	350	346	338	333	344	354	346	356	344	342	337	357	334	356	340	333	337
15:00:00	0	0	0	345	343	349	344	348	360	356	354	346	358	352	353	336	347	350	345	360	358	342	362	345	371	334	340	341	335	339
16:00:00	0	0	0	351	363	357	363	354	332	354	361	348	360	351	361	343	355	353	352	366	354	347	368	350	370	349	343	346	339	360
17:00:00	0	0	0	355	356	362	365	352	353	352	359	364	368	350	361	355	356	366	372	374	361	354	362	357	356	345	357	348	355	358
18:00:00	0	0	0	349	355	366	357	351	354	350	361	363	360	362	361	352	364	368	374	379	363	359	365	361	358	360	360	357	359	378
19:00:00	0	0	0	343	357	378	365	353	355	351	350	361	362	372	373	362	353	360	377	370	358	356	373	362	368	368	366	352	361	380
20:00:00	0	0	0	362	370	379	365	352	360	355	364	362	357	378	360	368	360	371	377	372	358	358	376	367	368	368	372	352	368	379
21:00:00	0	0	0	364	367	375	367	349	354	360	373	367	358	373	362	367	353	372	375	377	353	361	378	379	360	366	360	360	374	375
22:00:00	0	0	0	363	365	375	365	349	356	359	368	370	360	375	354	357	348	376	376	382	353	358	382	373	362	366	365	370	379	386
23:00:00	0	0	0	369	368	370	362	350	356	354	354	374	365	370	359	373	359	370	380	370	367	373	365	364	360	366	350	370	378	379
rata-rata	224	0	0	204	354	357	359	356	358	352	356	357	360	362	355	350	350	358	366	363	356	356	358	353	360	356	352	348	352	364
standar deviasi	174	0	0	173	12,9	13	13,4	9,46	10,3	10,2	8,38	8,75	11,2	8,54	11,9	13	11,8	13,6	11,7	14,8	13,7	12,1	16,8	17,7	8,49	11,9	15,1	15,9	17,3	19,6

**Tabel C-10. Data Proses Pembacaan TR 1202-3**

JAM	HARI ke- (Maret 2015)																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
00:00:00	422	422	403	423	422	422	422	422	421	427	424	426	426	425	425	424	416	416	416	421	420	420	420	424	424	423	424	425	424	425	
01:00:00	422	422	390	425	423	422	422	422	422	425	424	426	425	426	425	424	417	416	416	421	420	420	420	424	424	423	425	425	424	425	
02:00:00	422	422	384	425	423	422	422	422	423	424	424	426	425	426	425	424	418	416	417	421	421	420	421	424	424	423	425	425	424	425	
03:00:00	422	422	395	424	422	422	422	422	422	424	424	425	426	426	425	424	418	416	417	421	421	420	421	424	424	424	425	422	424	426	
04:00:00	421	422	419	423	422	422	422	423	424	424	423	425	426	426	425	424	418	417	417	420	422	420	421	424	424	424	425	422	424	424	
05:00:00	421	421	423	423	423	422	422	423	423	424	423	425	426	426	425	424	418	417	418	419	422	420	422	424	424	424	425	423	424	424	
06:00:00	421	421	423	424	422	422	422	424	423	424	423	425	426	426	424	424	418	417	418	420	422	420	421	424	425	425	425	423	423	424	
07:00:00	422	422	423	424	423	422	421	422	422	425	423	425	425	426	425	424	418	416	418	421	421	420	420	423	424	424	424	424	424	425	
08:00:00	422	422	424	423	422	422	421	421	424	425	423	425	425	426	425	425	418	417	417	420	420	418	420	424	424	423	424	424	424	425	
09:00:00	422	422	424	423	422	420	422	423	424	424	423	425	425	426	425	424	419	417	417	420	420	422	419	425	424	424	425	425	424	424	
10:00:00	422	422	424	423	423	423	422	423	423	424	424	426	426	426	426	425	418	417	419	421	421	422	420	425	422	425	426	426	427	425	
11:00:00	422	422	424	424	423	423	422	424	425	424	425	427	426	427	427	418	418	417	419	421	422	422	421	425	423	425	426	427	427	425	
12:00:00	423	422	424	424	422	424	422	424	425	423	429	427	425	427	427	418	418	417	419	421	422	423	421	424	425	425	426	429	428	425	
13:00:00	423	422	424	425	421	424	421	424	425	423	426	427	426	427	427	419	417	417	419	420	421	423	428	424	425	425	425	425	427	428	425
14:00:00	423	422	424	424	421	424	421	423	424	422	426	428	426	428	427	419	417	417	418	420	421	423	429	425	425	425	425	426	427	425	
15:00:00	422	422	423	424	422	424	422	423	425	423	426	427	427	427	425	418	417	417	448	421	421	422	428	425	423	425	425	423	424	425	
16:00:00	422	422	422	424	421	422	420	421	426	423	426	426	426	425	425	417	418	417	418	420	421	421	426	424	422	424	422	428	423	424	
17:00:00	422	422	422	424	421	421	421	421	427	424	426	425	415	423	425	419	418	417	421	420	421	421	426	424	424	424	423	424	425	424	
18:00:00	421	424	423	424	422	422	422	422	427	424	426	426	425	424	425	419	418	418	422	420	421	420	426	425	424	425	424	424	425	425	
19:00:00	422	421	423	423	423	422	424	423	427	424	425	426	426	424	424	419	417	417	422	420	420	421	426	424	423	424	425	424	426	425	
20:00:00	422	417	424	420	422	422	424	423	427	423	425	427	426	424	423	419	417	418	422	421	420	420	425	422	421	425	425	424	426	425	
21:00:00	422	413	424	419	422	422	424	423	427	424	425	427	426	425	424	417	417	416	421	421	420	420	425	422	422	425	425	425	426	425	
22:00:00	422	412	424	420	422	422	424	423	427	424	426	427	426	425	424	417	417	416	421	421	420	420	425	424	423	425	424	425	425	425	
23:00:00	422	406	423	422	423	422	422	422	427	424	426	426	426	425	424	417	417	416	421	419	421	420	425	425	423	425	425	424	425	424	
rata-rata	422	420	418	423	422	422	422	423	425	424	425	426	425	426	425	421	418	417	420	420	421	421	423	424	424	424	425	425	425	425	
standar deviasi	0,54	4,08	11,7	1,53	0,69	0,93	1,02	0,9	1,91	0,93	1,47	0,89	2,21	1,14	1,04	3,08	0,64	0,6	6,13	0,64	0,73	1,23	3,05	0,81	1,04	0,75	0,89	1,71	1,46	0,52	

**Tabel C-11. Data Proses Pembacaan TI 1002-8**

JAM	HARI ke- (Maret 2015)																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
00:00:00	423	423	206	423	422	424	424	423	423	431	428	430	432	432	432	431	418	418	417	421	421	421	423	430	430	428	431	433	431	433
01:00:00	423	423	403	425	424	424	424	422	423	428	428	431	431	432	432	431	419	418	417	421	421	421	422	430	431	428	431	432	432	433
02:00:00	423	423	420	425	424	424	424	422	423	428	428	431	431	432	431	431	419	418	417	422	422	423	423	430	431	428	431	432	432	433
03:00:00	423	423	420	425	423	424	424	422	426	428	428	431	432	432	431	430	419	418	418	422	422	423	423	430	431	428	432	429	432	433
04:00:00	422	423	420	425	423	424	424	426	426	428	427	430	432	432	431	430	419	418	418	422	424	423	423	430	431	434	432	429	432	433
05:00:00	422	423	420	424	424	424	424	426	426	428	427	430	432	432	431	430	419	418	418	422	424	423	424	431	431	434	431	430	432	433
06:00:00	422	423	424	424	424	424	424	426	426	428	427	431	432	432	431	431	419	418	419	422	423	423	424	430	432	434	431	431	432	433
07:00:00	423	423	425	424	425	424	423	424	423	429	427	430	431	432	431	431	420	418	419	423	422	423	422	430	432	430	431	431	431	432
08:00:00	423	423	425	425	424	424	423	422	424	429	427	430	431	432	431	430	420	418	418	423	422	421	422	431	432	430	430	431	431	432
09:00:00	423	423	425	425	424	423	423	425	426	429	427	430	431	432	431	430	420	418	420	423	422	425	423	431	432	431	432	433	432	432
10:00:00	423	422	425	425	424	422	423	425	425	429	427	432	431	432	433	430	421	418	421	423	424	425	423	432	430	432	433	434	433	433
11:00:00	423	423	425	425	424	424	424	426	428	429	428	434	431	434	433	428	420	419	419	423	424	425	424	432	430	431	433	434	433	433
12:00:00	423	422	424	425	424	424	423	426	429	426	428	434	431	434	434	421	419	419	420	422	423	426	424	432	431	431	433	434	433	433
13:00:00	424	422	425	425	422	425	422	426	428	425	430	434	432	434	434	421	419	419	420	422	423	426	434	432	431	431	433	434	438	433
14:00:00	424	422	425	425	422	425	422	426	428	425	430	434	432	434	434	421	419	419	419	422	422	426	434	432	431	432	433	434	435	433
15:00:00	424	422	425	425	424	425	423	425	428	426	431	434	432	431	432	421	419	419	418	422	423	425	433	432	429	432	432	432	432	431
16:00:00	423	423	425	425	421	425	421	425	428	427	431	432	432	431	431	420	419	418	418	422	422	423	432	431	429	430	430	431	432	431
17:00:00	423	423	424	425	424	422	422	422	430	428	431	431	432	430	431	420	419	419	421	421	422	423	432	431	430	430	430	432	433	431
18:00:00	423	380	424	425	424	423	424	422	431	428	431	431	432	430	431	421	418	419	422	421	422	423	432	431	430	432	431	433	433	432
19:00:00	423	338	424	424	425	423	425	424	432	428	431	431	432	430	430	421	418	419	422	422	421	423	432	431	428	432	432	433	433	433
20:00:00	423	299	424	421	424	424	425	424	431	427	431	431	432	430	430	421	418	419	422	423	421	423	431	430	426	432	433	433	433	433
21:00:00	423	272	424	426	424	424	425	425	432	428	432	452	431	431	430	419	418	419	422	423	421	423	432	431	428	432	432	433	433	433
22:00:00	423	248	424	420	424	424	425	425	432	428	432	452	431	431	430	419	418	419	422	423	421	423	431	431	428	432	432	433	433	432
23:00:00	423	206	424	422	425	424	422	423	431	428	431	432	432	431	430	417	418	417	421	422	421	423	431	430	420	431	433	433	433	432
rata-rata	423	390	414	424	424	424	423	424	427	428	429	433	432	432	431	425	419	418	420	422	422	423	427	431	430	431	432	432	433	433
standar deviasi	0,5	64	43,5	1,4	0,99	0,78	1,08	1,56	3,01	1,31	1,85	5,83	0,49	1,22	1,26	5,15	0,79	0,57	1,73	0,69	1,04	1,44	4,62	0,78	2,52	1,77	1,01	1,48	1,37	0,71

**Tabel C-12. Data Proses Pembacaan TI 1002-7**

JAM	HARI ke- (Maret 2015)																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
00:00:00	286	287	130	286	285	287	286	285	286	293	290	292	293	294	293	294	283	284	283	281	281	280	281	289	289	287	289	290	290	290
01:00:00	286	287	266	286	286	286	286	285	286	291	290	292	293	294	294	293	284	285	283	281	280	280	281	289	288	287	290	290	290	291
02:00:00	286	287	283	286	286	286	286	285	286	290	290	292	293	294	292	293	284	284	283	281	282	282	281	289	289	287	290	290	290	291
03:00:00	286	287	283	286	286	286	286	285	288	290	290	292	293	294	292	293	284	284	283	281	282	282	281	288	289	289	290	288	290	291
04:00:00	286	287	283	286	286	286	286	287	288	290	290	292	293	294	293	293	284	284	283	281	283	282	281	288	289	292	290	288	291	291
05:00:00	286	287	286	286	286	286	286	287	288	290	290	292	293	294	293	293	285	284	283	281	283	282	282	289	289	290	290	288	291	291
06:00:00	286	287	286	286	286	286	286	287	288	290	290	291	293	294	293	293	285	284	284	281	282	282	282	289	289	290	290	289	291	291
07:00:00	287	287	287	286	287	287	286	286	286	291	290	292	293	294	293	293	285	284	284	281	282	281	281	289	289	289	290	290	291	291
08:00:00	287	287	287	287	287	286	286	284	288	291	290	292	293	294	293	293	285	284	283	282	281	283	281	289	289	289	289	290	291	291
09:00:00	287	287	287	287	287	285	286	286	288	291	290	292	293	294	293	293	285	284	284	282	281	283	281	289	289	289	291	291	290	291
10:00:00	288	286	286	287	287	286	286	286	287	291	290	293	293	294	294	293	285	284	285	282	282	283	281	289	289	290	291	291	291	291
11:00:00	287	286	286	286	286	286	286	287	290	291	290	294	293	294	294	293	286	284	283	282	282	284	283	289	289	289	291	291	291	291
12:00:00	287	286	286	286	286	287	285	287	290	289	290	294	293	294	294	290	285	284	284	281	282	284	289	289	290	289	291	291	291	291
13:00:00	287	286	286	286	285	287	285	287	284	289	292	293	293	294	294	285	284	284	283	281	282	284	289	289	290	289	291	292	292	291
14:00:00	287	286	286	286	285	287	285	287	284	289	292	293	293	294	294	285	284	284	283	281	281	283	290	289	290	290	291	292	292	291
15:00:00	287	286	286	286	286	287	285	286	284	289	292	293	293	293	293	285	284	284	282	281	281	282	290	289	287	290	290	290	290	291
16:00:00	287	286	286	286	284	285	284	285	290	290	292	294	294	293	293	285	283	284	282	281	281	281	290	289	287	289	288	289	290	290
17:00:00	286	286	285	286	285	285	284	284	291	290	292	293	294	292	293	284	283	283	282	280	281	282	289	289	288	289	289	289	290	290
18:00:00	287	225	285	286	287	286	286	285	292	290	292	293	294	292	293	284	284	284	282	280	280	282	289	289	288	290	289	290	290	290
19:00:00	287	189	286	286	287	286	287	286	293	290	293	293	294	292	293	285	284	284	282	282	280	282	289	289	287	290	290	290	290	291
20:00:00	287	165	286	284	287	286	287	287	292	290	293	293	294	293	293	285	284	284	281	282	280	282	289	289	286	290	290	291	291	291
21:00:00	287	154	286	284	287	287	287	288	293	290	293	294	294	293	293	285	284	284	281	282	280	282	289	289	286	290	291	291	291	291
22:00:00	287	144	286	284	287	287	287	288	293	290	293	293	294	293	294	285	284	284	281	282	280	282	289	289	287	290	291	291	291	291
23:00:00	287	130	286	285	287	286	285	286	293	290	292	293	294	293	294	283	284	283	281	282	280	281	289	290	287	289	290	291	290	290
rata-rata	287	257	278	286	286	286	286	286	289	290	291	293	293	294	293	289	284	284	283	281	281	282	285	289	288	289	290	290	291	291
standar deviasi	0,54	53,8	31,2	0,8	0,85	0,64	0,82	1,11	2,94	0,87	1,22	0,79	0,47	0,71	0,6	4,16	0,72	0,35	1,06	0,61	0,96	1,05	3,99	0,35	1,18	1,1	0,81	1,13	0,63	0,41

**Tabel C-13. Data Proses Pembacaan TI 1001-12**

JAM	HARI ke- (Maret 2015)																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
00:00:00	76	75	57	76	75	75	76	76	76	76	76	77	76	75	75	75	74	76	75	78	76	76	77	75	76	77	76	76	75	78
01:00:00	76	75	76	76	76	76	78	76	76	76	76	77	75	75	75	74	75	76	77	77	76	76	77	75	76	77	76	77	76	78
02:00:00	76	74	77	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	75	74	74	75	76	77	77	76	76	77	76	75	77	76	77	76	78
03:00:00	76	74	76	76	75	76	76	76	77	76	76	76	76	75	74	74	75	76	77	77	76	76	77	75	75	77	76	75	75	77
04:00:00	75	75	76	76	76	76	76	76	77	76	76	76	76	75	75	74	75	75	77	77	76	76	77	75	75	76	76	75	75	77
05:00:00	75	75	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	75	75	74	75	75	77	77	76	76	76	75	76	76	76	75	74	77
06:00:00	75	75	76	76	75	76	76	76	76	76	76	76	76	75	75	74	75	75	77	77	76	76	76	75	75	76	76	75	74	77
07:00:00	75	75	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	75	75	74	75	76	77	77	76	76	76	75	75	76	76	76	76	77
08:00:00	75	75	76	77	76	76	77	76	76	76	76	76	76	76	75	76	76	76	77	77	76	76	76	75	75	76	76	76	76	77
09:00:00	75	75	76	77	76	76	76	77	76	77	76	77	77	76	75	76	76	76	78	77	76	76	77	76	76	76	76	77	76	77
10:00:00	75	75	76	77	76	77	77	77	78	77	76	77	77	76	75	76	76	75	78	77	77	77	77	76	76	76	77	77	77	77
11:00:00	76	75	76	77	76	77	76	77	77	77	76	78	77	76	75	77	75	75	78	77	77	77	77	76	77	77	77	77	77	78
12:00:00	76	75	77	77	77	77	76	77	76	76	76	77	77	76	76	77	75	76	78	77	77	77	78	77	77	77	77	77	77	78
13:00:00	76	76	77	77	77	77	76	77	76	75	77	77	77	76	76	77	75	76	77	77	77	77	79	77	77	77	77	77	78	77
14:00:00	76	76	77	77	77	77	76	77	76	75	77	77	77	76	76	77	76	76	77	77	77	77	79	77	77	76	77	77	78	77
15:00:00	77	76	77	77	77	77	76	76	76	75	77	76	77	75	76	79	76	76	78	77	77	77	76	76	76	77	77	77	77	77
16:00:00	76	76	77	77	75	76	76	76	76	76	77	76	78	75	75	79	76	76	78	77	77	76	76	76	76	76	76	76	77	77
17:00:00	76	76	76	77	76	76	77	76	76	76	77	76	75	76	75	79	76	76	78	77	77	76	76	76	77	76	76	76	77	77
18:00:00	75	61	76	77	76	76	77	76	76	76	77	76	75	76	75	79	75	76	78	77	77	76	76	76	77	76	77	76	78	77
19:00:00	75	52	77	74	76	75	77	76	77	76	77	76	75	75	75	79	75	76	77	77	76	76	76	75	76	76	77	76	78	77
20:00:00	75	50	77	75	75	75	76	76	77	76	76	76	75	75	74	79	75	75	77	77	76	77	76	76	76	76	76	76	78	77
21:00:00	75	50	76	75	76	76	76	77	77	76	77	76	75	75	75	78	75	75	77	77	76	77	76	75	77	76	76	76	78	77
22:00:00	75	50	77	75	76	76	76	77	77	77	77	76	75	75	74	78	75	75	77	77	76	77	76	76	77	76	76	76	78	77
23:00:00	75	51	76	75	76	76	76	76	76	76	77	76	75	75	74	78	76	75	78	77	76	77	76	76	77	76	76	76	78	77
rata-rata	75,5	69,5	75,6	76,2	76	76,1	76,3	76,3	76,4	76	76,4	76,4	76	75,4	75	76,5	75,3	75,6	77,3	77	76,4	76,4	76,7	75,7	76,1	76,3	76,3	76,2	76,6	77,2
standar deviasi	0,58	10,1	3,9	0,87	0,61	0,6	0,54	0,47	0,56	0,54	0,49	0,56	0,89	0,48	0,61	1,96	0,54	0,48	0,68	0,2	0,48	0,49	0,9	0,68	0,78	0,47	0,47	0,71	1,28	0,41

**Tabel C-14. Data Proses Pembacaan TI 1002-9**

JAM	HARI ke- (Maret 2015)																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
00:00:00	250	251	100	252	251	251	251	251	253	252	251	252	252	251	251	249	250	249	251	252	252	252	252	251	250	251	251	251	251	250
01:00:00	250	250	233	252	251	251	251	251	252	252	251	252	252	252	252	249	250	249	251	251	252	252	251	251	250	251	251	251	251	250
02:00:00	250	251	250	253	251	251	251	251	252	251	251	252	252	251	252	249	250	249	251	251	253	252	251	251	250	251	251	251	251	250
03:00:00	250	251	250	252	251	251	251	251	252	252	251	252	252	251	250	249	250	249	251	252	253	252	251	251	250	251	250	251	252	250
04:00:00	250	251	250	252	251	251	251	251	252	252	251	252	252	251	250	249	250	249	251	252	252	252	251	251	253	251	250	252	252	250
05:00:00	250	251	250	251	251	251	251	251	251	251	251	252	252	251	250	249	250	249	252	252	253	252	251	251	252	251	250	252	252	250
06:00:00	250	251	250	251	251	251	251	251	251	251	250	252	252	252	250	249	250	250	252	252	252	252	251	251	252	251	250	252	251	250
07:00:00	251	251	251	251	251	251	251	251	252	251	251	252	252	251	251	249	250	250	252	252	253	252	251	251	251	252	251	252	251	251
08:00:00	251	251	251	252	251	251	251	251	252	251	251	252	252	251	251	250	250	250	252	252	253	252	251	252	251	251	251	252	251	251
09:00:00	251	250	251	252	251	251	251	250	251	251	250	252	252	251	251	250	250	251	252	252	253	252	251	252	251	252	251	252	251	251
10:00:00	251	250	251	251	252	251	251	250	251	250	251	252	251	251	251	250	250	251	252	252	252	252	251	252	251	252	251	251	251	251
11:00:00	251	250	251	251	251	251	251	250	251	251	251	252	251	251	250	251	250	250	252	252	252	252	251	252	251	252	251	251	251	251
12:00:00	251	250	251	251	251	251	251	250	251	250	251	252	251	252	251	250	250	250	252	252	252	252	251	252	251	252	251	252	251	251
13:00:00	251	250	251	251	251	251	250	250	251	251	251	251	251	252	251	249	250	250	252	252	252	252	251	251	252	251	251	252	252	251
14:00:00	251	250	251	251	251	251	250	250	251	251	251	251	251	251	251	249	250	249	252	252	252	252	251	251	252	251	251	252	252	251
15:00:00	251	250	251	251	251	251	251	251	251	252	251	252	251	252	250	249	250	249	252	252	252	252	251	250	251	251	251	251	251	251
16:00:00	250	250	251	251	250	251	250	251	251	252	252	252	252	251	250	249	250	249	252	252	252	252	251	250	251	252	251	251	251	250
17:00:00	250	250	251	251	251	250	250	250	251	251	251	252	252	251	250	249	250	250	252	252	252	252	251	250	251	250	251	251	251	250
18:00:00	250	186	251	251	251	251	250	250	251	252	251	252	251	251	250	250	250	251	252	252	253	252	250	250	251	251	251	251	251	250
19:00:00	250	154	251	250	251	251	250	251	251	252	252	252	251	251	249	250	250	251	252	252	252	252	251	251	250	251	251	251	251	250
20:00:00	250	135	251	250	251	251	250	251	252	252	252	252	251	251	249	250	250	251	252	252	252	252	251	251	250	251	252	251	251	250
21:00:00	250	126	251	250	251	251	251	250	251	252	252	251	252	251	249	250	250	251	252	252	252	251	251	250	250	251	252	251	251	250
22:00:00	250	119	251	250	251	251	251	252	251	252	252	251	251	252	249	250	250	251	253	252	252	251	251	250	250	251	252	251	251	251
23:00:00	251	108	251	251	251	251	251	252	251	250	252	252	251	251	249	250	249	251	252	252	252	251	251	250	251	251	252	251	251	251
rata-rata	250	222	244	251	251	251	251	251	251	251	251	252	252	251	250	250	250	250	252	252	252	252	251	251	251	251	251	251	251	250
standar deviasi	0,49	50,4	30,2	0,75	0,29	0,2	0,45	0,61	0,56	0,69	0,55	0,37	0,5	0,43	0,89	0,58	0,2	0,84	0,47	0,28	0,45	0,41	0,29	0,76	0,75	0,5	0,64	0,48	0,33	0,5

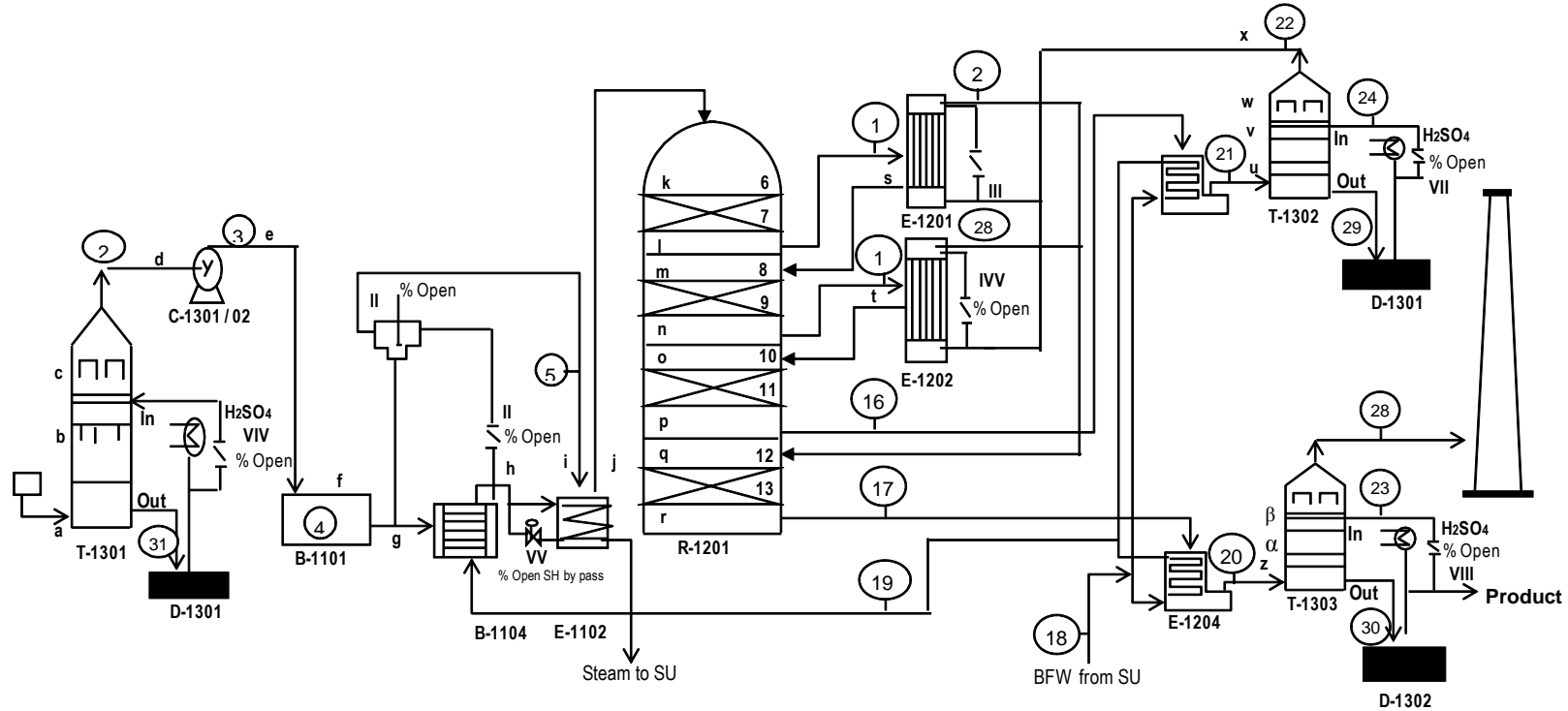


**Tabel C-15. Data Proses Pembacaan TI 1001-15**

JAM	HARI ke- (Maret 2015)																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
00:00:00	77	78	32	78	77	78	78	79	80	79	80	79	79	78	78	77	78	77	80	78	78	78	78	80	79	79	79	79	79	77
01:00:00	77	78	77	78	78	78	78	79	80	79	79	79	79	78	78	77	78	80	80	78	78	78	78	80	79	79	79	79	79	77
02:00:00	78	77	79	78	78	78	78	79	79	79	79	79	79	78	78	77	78	80	80	78	78	78	78	80	79	79	79	79	79	78
03:00:00	78	77	77	78	78	78	78	79	79	79	79	79	78	78	78	77	78	80	80	78	78	78	77	77	80	79	78	79	79	78
04:00:00	77	77	77	78	78	78	78	78	79	79	79	79	78	78	78	77	78	80	80	78	78	78	77	77	79	79	78	78	79	77
05:00:00	77	77	78	78	78	78	78	78	79	79	79	79	78	78	78	77	78	80	80	78	78	78	78	77	79	79	79	78	79	77
06:00:00	77	77	78	78	78	78	78	78	79	79	79	79	79	78	78	77	78	80	80	78	78	78	78	77	79	79	79	78	79	77
07:00:00	77	77	78	78	78	78	78	78	79	79	79	79	79	78	78	78	78	79	80	78	78	78	78	77	79	79	79	78	79	77
08:00:00	77	77	78	78	78	78	78	78	79	79	79	79	79	78	79	78	78	79	80	78	78	78	78	77	79	79	79	78	79	77
09:00:00	77	77	78	78	79	78	79	78	80	79	80	80	79	78	80	78	78	80	80	78	79	78	78	79	79	79	79	79	79	77
10:00:00	77	78	78	78	79	79	79	78	80	79	80	80	79	79	80	78	78	80	80	79	79	79	78	79	79	79	79	79	79	77
11:00:00	77	78	78	79	79	79	79	79	80	79	80	80	79	79	81	78	78	80	80	79	79	79	78	79	79	80	79	79	79	78
12:00:00	78	78	79	79	79	79	79	79	79	80	80	80	79	79	79	78	78	80	80	79	79	79	78	79	79	80	79	79	79	78
13:00:00	78	78	79	79	79	79	78	79	79	80	80	80	79	79	79	78	78	80	79	79	79	80	78	79	79	80	80	79	79	78
14:00:00	78	78	79	79	79	79	78	79	79	80	80	80	79	79	79	78	78	80	79	79	79	80	78	79	79	80	80	79	79	78
15:00:00	78	78	79	79	78	79	78	78	79	80	80	79	79	79	79	78	78	80	79	78	79	78	78	79	80	79	80	79	80	78
16:00:00	78	78	79	79	78	79	78	78	79	80	79	79	79	79	78	78	79	80	79	78	79	78	78	79	79	80	80	79	80	78
17:00:00	78	78	79	79	78	79	78	78	79	80	79	79	78	79	78	78	78	80	78	78	79	78	78	80	79	79	79	79	79	78
18:00:00	77	58	79	79	78	79	78	78	79	80	79	79	78	79	78	78	78	80	78	78	78	78	78	80	79	79	79	79	79	77
19:00:00	77	41	79	79	78	78	78	78	79	79	79	79	79	79	78	78	78	81	78	78	78	78	78	80	79	79	79	79	79	77
20:00:00	77	38	79	77	78	78	78	79	79	79	79	79	78	78	78	78	78	81	78	78	78	78	78	80	79	79	79	79	79	77
21:00:00	77	37	79	77	78	78	79	78	79	80	79	79	78	79	78	78	78	81	78	78	78	78	78	80	79	79	79	79	79	77
22:00:00	77	36	79	77	78	78	79	79	79	80	79	79	78	77	76	78	78	81	78	78	78	78	78	80	79	79	79	79	79	77
23:00:00	77	34	79	77	78	78	79	79	79	80	79	79	78	77	76	78	77	80	78	78	78	78	78	80	79	79	79	79	79	77
rata-rata	77,3	68,3	76,5	78,2	78,2	78,4	78,3	78,5	79,2	79,4	79,3	79,3	78,6	78,4	78,3	77,7	78	80	79,3	78,2	78,4	78,3	77,9	78,7	79,2	79,2	79,1	78,8	79,1	77,4
standar deviasi	0,47	16,5	9,31	0,71	0,5	0,48	0,45	0,5	0,41	0,49	0,47	0,43	0,48	0,63	1,07	0,45	0,29	0,79	0,88	0,41	0,48	0,61	0,28	1,14	0,41	0,41	0,49	0,41	0,28	0,48

**LAMPIRAN D**  
**DATA PFD dan P&id**

**PFD S.A PLANT**



Δ  
Δ

NOMOR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
DESIGN TEMP °C		60	106	1042	593	430	611	440	521	430	451	420	441	610	521	451	441	105	248	190	220	78	60	80	80	80					
HURUF	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z	α	β			
DESIGN PRESS mmH <sub>2</sub> O	10	-	-	395	4385	4275	3825	3385		3750		2900		2580		2035	1040	750			1675			1305	1040	405		35			

**Gambar D-1. PFD Asam Sulfat**



**LAMPIRAN E**  
**TABEL MAINTENANCE DAN PERHTUNGAN *LIKELIHOOD***

No.	Instrumen	Tanggal/Bulan/tahun (Maintenance)	Tanggal/Bulan/Tahun (Sekarang belum Terjadi Kerusakan)	Selisih Waktu Maintenance (Hari)	TTF (jam)	MTTF (jam)	Waktu Operasi 5 Tahun (jam)	Likelihood
1	TR 1202-6	16/07/2013	04/03/2015	596	14304	14304	43800	3,062080537
2	TR 1201-1	06/03/2012	04/03/2015	1093	26232	26232	43800	1,669716377
3	TI 1002-4	18/09/2012	04/03/2015	897	21528	10764	43800	4,069119287
		04/03/2015	04/03/2015	0	0			
4	TR 1201-3	23/05/2013	04/03/2015	650	15600	15600	43800	2,807692308
5	TI 1002-5	13/09/2012	04/03/2015	902	21648	21648	43800	2,023281596
6	TR 1201-5	23/05/2013	04/03/2015	650	15600	15600	43800	2,807692308
7	TI 1002-6	05/10/2009	10/10/2010	370	8880	23712	43800	1,847165992
		10/10/2010	04/03/2015	1606	38544			
8	TR 1202-3	15/07/2013	04/03/2015	497	14328	14328	43800	3,056951424
9	TI 1002-8	12/06/2013	04/03/2015	630	15120	15120	43800	2,896825397
10	PI 1007-6	09/03/2010	02/02/2012	695	16680	14568	43800	3,006589786
		02/02/2012	02/06/2014	851	20424			
		02/06/2014	04/03/2015	275	6600			
11	TR 1103	02/05/2011	04/03/2015	1402	33648	20580	43800	2,128279883
12	TCV 1103	23/08/2010	02/07/2011	313	7512	19848	43800	2,206771463
		02/07/2011	04/03/2015	1341	32184			
13	TR 1202-1	02/08/2009	04/03/2015	2040	48960	48960	43800	0,894607843
14	TR 1202-2	02/08/2009	01/06/2014	1764	42336	24480	43800	1,789215686
		01/06/2014	04/03/2015	276	6624			
15	TI 1002-7	19/07/2010	04/03/2015	1689	40536	40536	43800	1,080521018
16	TI 1001-12	20/07/2011	04/03/2015	1323	31752	31752	43800	1,379440665
17	TI 1002-9	14/09/2012	04/03/2015	901	21624	21624	43800	2,025527192
18	TI 1001-15	22/07/2011	04/03/2015	1321	31704	31704	43800	1,381529145

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama **Muhammad Rozaqur Rokhim**. Penulis lahir di Gresik pada tanggal 20 Juli 1993. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SD Semen Gresik, SMPN 1 Gresik, SMAN 1 Gresik, dan Teknik Fisika ITS. Di Jurusan Teknik Fisika penulis mengambil bidang minat rekayasa instrumentasi dan kontrol. Penulis juga aktif mengikuti organisasi selama di Himpunan Mahasiswa Teknik Fisika

sebagai staff Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa (PSDM) dan wakil kepala Departemen PSDM biro kaderisasi. Selain itu di Laboratorium Instrumentasi dan Kontrol penulis sebagai Asisten Praktikum untuk mahasiswa S1, D3, dan lintas Jalur Teknik Fisika ITS. Penulis menyelesaikan kerja Praktek di PT Siemens Indonesia mengenai “Simulasi Sistem Pengendalian Level dengan *Software* PLCSIM Simatic S7 pada *Make Up Water Tank*”. Pada semester akhir kuliahnya telah menyelesaikan tugas akhir dengan judul “*Hazard And Operability Study* dan *Safety Integrity Level* dengan Metode *Fault Tree Analysis* pada Reaktor Asam Sulfat di Pabrik III PT Petrokimia Gresik”.